



SKRIPSI- TK141581

**EKSPERIMEN DAN ESTIMASI KESETIMBANGAN FASA
UAP-CAIR SISTEM LARUTAN ELEKTROLIT CO₂-
K₂CO₃-(DEA+*Glycine*)-H₂O**

Oleh:

Shauma Hibatul Wafi

2313 100 154

Adrian Tawakal

2313 100 170

Dosen Pembimbing :

Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA

NIP. 1958 06 12 1984 03 1003

Rizky Tetrisyanda, S.T., M.T.

NIP. 1991 01 10 2015 04 2002

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



FINAL PROJECT- TK141581

**EXPERIMENT AND ESTIMATION OF VAPOR-LIQUID
EQUILIBRIA FOR ELECTROLYTE SOLUTION OF CO₂-
K₂CO₃-(DEA+GLYCINE)-H₂O**

Project By:

Shauma Hibatul Wafi

2313 100 154

Adrian Tawakal

2313 100 170

Advisors :

Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA

NIP. 1958 06 12 1984 03 1003

Rizky Tetrisyanda, S.T., M.T.

NIP. 1991 01 10 2015 04 2002

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

Laporan Skripsi dengan judul:

EKSPERIMEN DAN ESTIMASI KESETIMBANGAN FASA UAP-CAIR LARUTAN ELEKTROLIT $\text{CO}_2\text{-K}_2\text{CO}_3\text{-(DEA-GLISIN)-H}_2\text{O}$

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Bidang Studi Termodinamika Program
Studi S-1 Departemen Teknik Kimia
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

SHAUMA HIBATUL WAFI

NRP. 2313 100 154

ADRIAN TAWAKAL

NRP. 2313 100 170

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA (Pembimbing 1)
2. Rizky Tetrisyanda, ST., MT (Pembimbing 2)
3. Prof. Dr. Ir. Gede Wibawa, M.Eng (Penguji I)
4. Prof. Dr. Ir. Ali Altway, MS (Penguji II)
5. Annas Wiguno, ST., MT (Penguji III)

Surabaya

Juli, 2017



EKSPERIMEN DAN ESTIMASI KESETIMBANGAN FASA UAP-CAIR LARUTAN ELEKTROLIT CO₂-K₂CO₃- (DEA+*Glycine*)-H₂O

Nama Mahasiswa : 1. Shauma Hibatu Wafi (2313 100 154)
2. Adrian Tawakal (2313 100 170)
Jurusan : Teknik Kimia FTI-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Dr.Ir.Kuswandi, DEA
2. Rizky Tetrisyanda, S.T., M.T.

ABSTRAK

Proses penting dalam industri gas adalah menghilangkan gas pengotor dalam campuran gas, salah satunya adalah menghilangkan gas CO₂. Teknologi untuk menghilangkan CO₂ telah banyak dikembangkan, yang paling sering digunakan adalah proses absorpsi kimia. Pelarut yang biasa digunakan adalah pelarut kalium karbonat (K₂CO₃) atau *alkanolamine*. Kelarutan CO₂ dalam pelarut kalium karbonat (K₂CO₃) tinggi, akan tetapi reaksi berlangsung lambat. Oleh karena itu dibutuhkan bahan aktivator seperti DEA, MEA, dan MDEA.

Data kesetimbangan fase uap-cair sistem CO₂-K₂CO₃-(DEA+*Glycine*)-H₂O dibutuhkan untuk perancangan yang rasional dan operasi yang optimal dari unit CO₂ *removal*. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan solubilitas gas CO₂ secara eksperimen didalam larutan K₂CO₃ dengan promotor campuran DEA+*Glycine* pada temperatur 30-50°C dan tekanan atmosferik dengan komposisi 30% K₂CO₃, DEA 0-5%, dan *Glycine* 0-5% dan H₂O 65% dengan menggunakan model elektrolit-NRTL.

Hasil eksperimen dan korelasi menunjukkan bahwa nilai konstanta Henry yang diperoleh menurun seiring dengan penurunan suhu pada range 30-50°C, meningkatnya konsentrasi umpan CO₂ dapat menaikkan tekanan parsial gas CO₂ pada

konsentrasi promotor yang sama. Meningkatnya konsentrasi umpan CO_2 dan promotor DEA meningkatkan besarnya CO_2 loading. Penyerapan CO_2 paling baik adalah pada konsentrasi promotor DEA 0%- Glisin 5% dimana tekanan parsial CO_2 paling kecil. Hasil korelasi dengan E-NRTL memberikan nilai *Average Absolute Relative Deviation (AARD)* sebesar 4,3967%.

Kata kunci : kesetimbangan fase uap-cair, model elektrolit-NRTL, sistem CO_2 - K_2CO_3 -(DEA+*Glycine*)- H_2O , solubilitas

EXPERIMENT AND ESTIMATION OF VAPOT-LIQUID EQUILIBRIA FOR ELECTROLYTE SOLUTION OF CO_2 - K_2CO_3 - (DEA+Glycine)- H_2O

Student's Name : 1. Shauma Hibatul Wafi (2313 100 154)
2. Adrian Tawakal (2313 100 170)
Department : Chemical Engineering, FTI-ITS
Advisors : 1. Prof. Dr.Ir.Kuswandi, DEA
2. Rizky Tetrisyanda, S.T., M.T.

ABSTRACT

The important processes in gas industry is to remove acid gas from gas mixture, one of the process is CO_2 removal. Technologies of CO_2 removal from gas mixture has been developed. One of those is commonly applied in industry to do chemical absorption separation. Potassium carbonate solvent (K_2CO_3) or alkanolamine is often used in CO_2 removal. CO_2 solubility in potassium carbonate solvent (K_2CO_3) is high but the rate of reaction is low. Therefore activator such as DEA, MEA, and MDEA are needed.

The vapor-liquid equilibrium data of the system CO_2 - K_2CO_3 -(DEA+Glycine)- H_2O are needed for rational design and optimal operation condition from CO_2 removal unit. This experiment aims to determine the solubility of CO_2 experimentally using K_2CO_3 solution with promotor mixture of DEA+Glycine at temperature 30-50 $^{\circ}\text{C}$ and at atmospheric pressure with a composition of 30% K_2CO_3 , 0-5% DEA, and 0-5% Glycine using electrolyte-NRTL model.

The experiment result and correlation show that Henry constanta values decrease with the temperature decline of 30-50 $^{\circ}\text{C}$, the increasing of CO_2 loading can increase CO_2 partial pressure at the same promotor concentration. The increasing of CO_2 feed concentration and DEA concentration can escalate the

average CO₂ loading. The smallest value of CO₂ partial pressure is the absorbent using 0% DEA and 5% Glycine promotor. The correlation using E-NRTL giving Average Absolute Relative Deviation (AARD) of 4,3967%.

Keywords : CO₂-K₂CO₃-(DEA+Glycine)-H₂O system, Electrolyte-NRTL models, solubility, vapor-liquid equilibria

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT karena berkah, Rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul :

**"EKSPERIMEN DAN ESTIMASI
KESETIMBANGAN FASA UAP-CAIR LARUTAN
ELEKTROLIT CO₂-K₂CO₃-(DEA+*Glycine*)-H₂O".**

Kami tidak dapat menyelesaikan laporan ini tanpa bantuan dan bimbingan banyak pihak, karena itu kami ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA dan Rizky Tetrisyanda., S.T., M.T selaku dosen pembimbing kami
2. Juwari, ST., M. Eng.,Ph.D selaku ketua Departemen Teknik Kimia FTI-ITS
3. Prof. Dr. Ir Gede Wibawa, M.Eng. selaku kepala Laboratorium Termodinamika Departemen Teknik Kimia FTI-ITS
4. Bapak/Ibu dosen penguji.
5. Orang tua dan keluarga atas segala kasih sayang, kesabaran, doa dan pengorbanan dalam mendidik dan membesarkan kami
6. Teman-teman K53 Teknik Kimia FTI-ITS yang terus saling mendukung dan memberi semangat
7. Seluruh civitas akademika Departemen Teknik Kimia FTI-ITS yang telah memberikan dukungan moril kepada penulis
8. Semua rekan-rekan Laboratorium Termodinamika yang selalu memberi support.
9. Semua pihak yang telah membantu penyelesaian laporan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Kami menyadari bahwa pembuatan laporan kami ini masih jauh dari sempurna, dengan segala kerendahan hati kami mengharapkan saran dan kritik untuk perbaikan laporan ini.

Surabaya, 26 Juli 2017

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Perumusan Masalah	5
I.3 Tujuan Penelitian	7
I.4 Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
II.1 Tinjauan Penelitian.....	9
II.2 Metode Absorpsi	10
II.3 Bahan Pelarut	11
II.3.1 Glisin	11
II.3.2 Diethanolamine (DEA).....	12
II.3.3 Kalium Karbonat	12
II.4 Kesetimbangan Fase.....	13
II.5 Hukum <i>Henry</i>	15
II.6 Kesetimbangan Reaksi Kimia	16
II.7 Model Elektrolit <i>Non Random Two Liquid</i> (E-NRTL)	17
II.7.1 Long Range Forces.....	18

II.7.2 Persamaan Born	19
II.7.3 NRTL <i>Term</i> Sebagai Kontribusi <i>Local Composition</i>	20
II.8 Parameter Interaksi pada Model E-NRTL	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
III.1 Deskripsi Penelitian	29
III.2 Peralatan Percobaan	29
III.3 Bahan Percobaan	30
III.4 Variabel Penelitian	31
III.5 Pelaksanaan Percobaan	31
III.5.1 Persiapan Percobaan	31
III.5.2 Prosedur Penelitian	31
III.6 Evaluasi Data	32
BAB IV	37
HASIL DAN PEMBAHASAN	37
IV.1 Hasil Eksperimen dan Pembahasan	37
IV.1.1 Solubilitas CO ₂ secara Fisik	37
IV.1.2 Solubilitas CO ₂ secara Kimia	39
IV.2 Korelasi dengan Model E-NRTL	48
IV.3 Perbandingan Hasil Eksperimen dan Hasil Korelasi	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	59
V.1 Kesimpulan.....	59
V.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....	61
DAFTAR NOTASI	65
APENDIKS	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Struktur bangun glisin.....	11
Gambar II.2 Struktur bangun DEA	12
Gambar II.3 Struktur bangun Kalium karbonat.....	12
Gambar III.1 Skema Peralatan Solubilitas CO ₂	30
Gambar IV.1 Konstanta Henry CO ₂ pada 30% K ₂ CO ₃ dan 0-5% DEA-Glisin.....	38
Gambar IV.2 Grafik Hubungan CO ₂ Terlarut vs Suhu dengan komposisi gas CO ₂ 5%	42
Gambar IV.3 Grafik Hubungan CO ₂ Terlarut vs Suhu dengan komposisi gas CO ₂ 10%	42
Gambar IV.4 Grafik Hubungan CO ₂ Terlarut vs Suhu dengan komposisi gas CO ₂ 15%	43
Gambar IV.5 Grafik Hubungan CO ₂ Terlarut vs Suhu dengan komposisi gas CO ₂ 20%	43
Gambar IV.6 Grafik Hubungan CO ₂ Bereaksi vs Suhu dengan komposisi gas CO ₂ 5%	46
Gambar IV.7 Grafik Hubungan CO ₂ Bereaksi vs Suhu dengan komposisi gas CO ₂ 10%	46
Gambar IV.8 Grafik Hubungan CO ₂ Bereaksi vs Suhu dengan komposisi gas CO ₂ 15%	47
Gambar IV.9 Grafik Hubungan CO ₂ Bereaksi vs Suhu dengan komposisi gas CO ₂ 20%	47
Gambar IV.10 Grafik Tekanan Parsial CO ₂ untuk Konsentrasi Konsentrasi Gas CO ₂ 5%	55
Gambar IV.11 Grafik Tekanan Parsial CO ₂ untuk Konsentrasi Gas CO ₂ 10%	55
Gambar IV.12 Grafik Tekanan Parsial CO ₂ untuk Konsentrasi Gas CO ₂ 15%	56

Gambar IV.13 Grafik Tekanan Parsial CO₂ untuk Konsentrasi
Gas CO₂ 20%56

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Sifat Fisik Glisin.....	11
Tabel II.2 Sifat Fisik DEA	12
Tabel II.3 Sifat Fisik Kalium Karbonat.....	12
Tabel IV.1 Hasil Perhitungan CO ₂ Terlarut pada 5% CO ₂	40
Tabel IV.2 Hasil Perhitungan CO ₂ Terlarut pada 10% CO ₂	40
Tabel IV.3 Hasil Perhitungan CO ₂ Terlarut pada 15% CO ₂	41
Tabel IV.4 Hasil Perhitungan CO ₂ Terlarut pada 20% CO ₂	41
Tabel IV.5 Hasil Perhitungan CO ₂ Bereaksi pada 5% CO ₂	44
Tabel IV.6 Hasil Perhitungan CO ₂ Bereaksi pada 10% CO ₂	44
Tabel IV.7 Hasil Perhitungan CO ₂ Bereaksi pada 15% CO ₂	45
Tabel IV.8 Hasil Perhitungan CO ₂ Bereaksi pada 20% CO ₂	45
Tabel IV.9 Parameter Interaksi Biner Antarmolekul	49
Tabel IV.10 Parameter Interaksi Biner Antarmolekul dan Pasangan Ion	50
Tabel IV.11 Hasil Perhitungan Tekanan Parsial CO ₂ untuk Konsentrasi Gas CO ₂ 5%	51
Tabel IV.12 Hasil Perhitungan Tekanan Parsial CO ₂ untuk Konsentrasi Gas CO ₂ 10%	52
Tabel IV.13 Hasil Perhitungan Tekanan Parsial CO ₂ untuk Konsentrasi Gas CO ₂ 15%	52
Tabel IV.14 Hasil Perhitungan Tekanan Parsial CO ₂ untuk Konsentrasi Gas CO ₂ 20%	53
Tabel A.1 Hasil Perhitungan Massa Tiap Komponen	68
Untuk 4% Massa DEA dan 1% Massa Glisin	68
Tabel A.2 Hasil Perhitungan Mol N ₂ O Terabsorb tiap %DEA dan %Glisin.....	69

Tabel A.3 Hasil Perhitungan Konstanta Henry N_2O dan CO_2 tiap %DEA dan %Glisin.....	71
Tabel A.4 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi di Larutan dengan Konsentrasi 4% DEA – 1% Glisin untuk CO_2 5% N_2 95% pada suhu 30°C	79
Tabel A.5 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 0% DEA dan 5% Glisin dengan Komposisi Gas CO_2 5% N_2 95%	80
Tabel A.6 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 1% DEA dan 4% Glisin dengan Komposisi Gas CO_2 5% N_2 95%	80
Tabel A.7 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 2% DEA dan 3% Glisin dengan Komposisi Gas CO_2 5% N_2 95%	81
Tabel A.8 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 3% DEA dan 2% Glisin dengan Komposisi Gas CO_2 5% N_2 95%	81
Tabel A.9 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 4% DEA dan 1% Glisin dengan Komposisi Gas CO_2 5% N_2 95%	81
Tabel A.10 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 5% DEA dan 0% Glisin dengan Komposisi Gas CO_2 5% N_2 95%	82
Tabel A.11 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 0% DEA dan 5% Glisin dengan Komposisi Gas CO_2 10% N_2 90%	82
Tabel A.12 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 1% DEA dan 4% Glisin dengan Komposisi Gas CO_2 10% N_2 90%	82

Tabel A.13 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 2% DEA dan 3% Glisin dengan Komposisi Gas CO ₂ 10% N ₂ 90%	83
Tabel A.14 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 3% DEA dan 2% Glisin dengan Komposisi Gas CO ₂ 10% N ₂ 90%	83
Tabel A.15 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 4% DEA dan 1% Glisin dengan Komposisi Gas CO ₂ 10% N ₂ 90%	83
Tabel A.16 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 5% DEA dan 0% Glisin dengan Komposisi Gas CO ₂ 10% N ₂ 90%	84
Tabel A.17 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 0% DEA dan 5% Glisin dengan Komposisi Gas CO ₂ 15% N ₂ 95%	84
Tabel A.18 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 1% DEA dan 4% Glisin dengan Komposisi Gas CO ₂ 15% N ₂ 85%	84
Tabel A.19 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 2% DEA dan 3% Glisin dengan Komposisi Gas CO ₂ 15% N ₂ 85%	85
Tabel A.20 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 3% DEA dan 2% Glisin dengan Komposisi Gas CO ₂ 15% N ₂ 85%	85
Tabel A.21 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 4% DEA dan 1% Glisin dengan Komposisi Gas CO ₂ 15% N ₂ 85%	85
Tabel A.22 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 5% DEA dan 0% Glisin dengan Komposisi Gas CO ₂ 15% N ₂ 85%	86

Tabel A.23 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 0% DEA dan 5% Glisin dengan Komposisi Gas CO ₂ 20% N ₂ 80%	86
Tabel A.24 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 1% DEA dan 4% Glisin dengan Komposisi Gas CO ₂ 20% N ₂ 80%	86
Tabel A.25 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 2% DEA dan 3% Glisin dengan Komposisi Gas CO ₂ 20% N ₂ 80%	87
Tabel A.26 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 3% DEA dan 2% Glisin dengan Komposisi Gas CO ₂ 20% N ₂ 80%	87
Tabel A.27 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 4% DEA dan 1% Glisin dengan Komposisi Gas CO ₂ 20% N ₂ 80%	87
Tabel A.28 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di <i>Liquid</i> Untuk 5% DEA dan 0% Glisin dengan Komposisi Gas CO ₂ 20% N ₂ 80%	88
Tabel A.29 Hasil Perhitungan C _i Untuk 1% GLISIN 4% DEA...	89
Tabel A.30 Data Nonrandomness Parameter	90
Tabel A.31 Data Konstanta <i>Binary Interaction Parameter</i> antarMolekul-Pasangan ion dan Pasangan Ion-Molekul untuk Sistem DEA-Glisin.....	91
Tabel A.32 Perhitungan <i>Binary Interaction Parameter</i> (Molekul:CO ₂).....	99
Tabel A.33 Perhitungan <i>Binary Interaction Parameter</i> (Molekul:H ₂ O).....	100
Tabel A.34 Perhitungan <i>Binary Interaction Parameter</i> (Molekul:Glisin)	101
Tabel A.35 Perhitungan <i>Binary Interaction Parameter</i> (Molekul:DEA).....	102

Tabel A.36 Data Konstanta <i>Binary Interaction Parameter</i> Antarmolekul.....	103
Tabel A.37 Perhitungan <i>Binary Interaction Parameter</i> antar Molekul	105
Tabel A.38 Perhitungan Koefisien Aktivitas H ₂ O.....	112
Tabel A.38 Perhitungan Koefisien Aktivitas H ₂ O (Lanjutan)...	113
Tabel A.39 PerhitunganKoefisien Aktivitas CO ₂	114
Tabel A.39 PerhitunganKoefisien Aktivitas CO ₂ (Lanjutan)	115

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Berdasarkan *Jurnal Outlook Energi Indonesia* yang diterbitkan oleh Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, cadangan gas bumi di Indonesia meningkat sekitar 1,36% atau 2,03 TSCF pada tahun 2014. Produksi gas bumi ini secara domestik digunakan pada sektor industri, pembangkit listrik, gas kota, *gas lift and reinjection*, dan *own use*. Selain itu Indonesia juga sudah mampu memenuhi kebutuhan gas bumi untuk diekspor dalam bentuk LNG dan gas pipa.

Dengan meningkatnya kebutuhan energi di Indonesia, maka perlu adanya pemilihan bahan bakar dengan kadar karbon rendah, teknologi yang efisien, dan ramah lingkungan. Karena salah satu emisi dari pembakaran energi di sektor komersial, rumah tangga, industri, transportasi, pembangkit listrik, dan lainnya adalah emisi gas CO₂. Karena emisi gas CO₂ dapat menyebabkan pemanasan global bila terus menerus bertambah tanpa dikontrol. Selain itu gas CO₂ dalam gas bumi juga merupakan pengotor yang harus dihilangkan untuk meningkatkan kualitas dari gas bumi itu sendiri. Keberadaan karbon dioksida di gas bumi juga memiliki beberapa pengaruh buruk, yaitu dapat menurunkan nilai panas (*heating value*), sehingga kualitas produk yang dihasilkan pun kurang baik dan juga ada nya CO₂ di gas alam dapat meracuni katalis. Selain itu, CO₂ akan merusak sistem perpipaan pabrik karena membeku pada suhu rendah. Hal ini tentu sangat merugikan.

Terdapat beberapa metode untuk penghilangan gas CO₂ yaitu dengan absorpsi, adsorpsi, membrane, *direct conversion*, dan fraksinasi kriogenik. Pada absorpsi, komponen yang mudah larut pada fase gas akan dilarutkan dalam liquid. Absorpsi dapat menggunakan absorpsi kimia dan absorpsi fisika. Absorpsi kimia memiliki kelebihan yaitu relatif tidak sensitif terhadap tekanan

parsial CO_2 serta dapat menurunkan jumlah CO_2 hingga ppm level. Namun metode ini membutuhkan energi yang cukup tinggi untuk regenerasi pelarut. Sedangkan kelebihan dari absorpsi fisika adalah energi untuk regenerasi yang dibutuhkan lebih rendah dan dapat seletif di antara H_2S dan CO_2 . Kekurangan dari metode ini adalah sangat sensitif terhadap tekanan parsial dari gas asam. Pelarut yang biasa digunakan dalam absorpsi kimia adalah larutan amina dan garam alkali (*hot potassium carbonate*). Sedangkan contoh absorpsi secara fisika adalah proses Selexol. (Kidnay dan Parrish, 2006).

Gas asam juga dapat dihilangkan dengan metode adsorpsi, biasanya adsorpsi fisika menggunakan zeolite sintesis dalam prosesnya. Pada proses ini CO_2 dapat teradsorpsi bahkan pada tekanan parsial rendah. Sedangkan pada fraksinasi kriogenik, distilasi biasanya digunakan untuk memisahkan campuran liquids namun juga memiliki prospek yang bagus untuk penghilangan CO_2 dari campuran gas. Hal ini dikarenakan tekanan uap dari komponen berbeda. Selanjutnya adalah metode dengan menggunakan membran, membrane biasanya digunakan untuk mendehidrasi, *fuel-gas conditioning*, dan penghilangan CO_2 . Untuk saat ini penghilangan CO_2 adalah yang paling penting dalam pengaplikasian membran. Pada industri yang saat ini digunakan adalah *cellulose acetat*. Namun membrane memiliki batas suhu operasi yang harus menyesuaikan kondisi operasi dari polimer yang digunakan, selain itu kenaikan tekanan umpan dapat menurunkan selektivitas dan permeabilitas dari membran, untuk itu biasanya dilakukan perlakuan awal untuk umpan yang akan masuk ke membran. (Kidnay dan Parrish, 2006).

Secara umum, proses penghilangan gas CO_2 dari gas alam dapat dilakukan dengan cara menggunakan *packed column* dan *tray column*. Sedangkan pelarut yang biasa digunakan adalah pelarut *amine* (seperti MEA, DEA, TEA, MDEA, dll), dalam bentuk pelarut tunggal maupun campuran.

Selain menggunakan pelarut *amine*, penggunaan pelarut kalium karbonat (K_2CO_3) untuk proses pemisahan CO_2 juga

masih sering digunakan karena kelarutan CO_2 terhadap karbonat/bikarbonat cukup tinggi dan biayanya murah (Rahimpour dan Kashkooli, 2004; Todinca et al, 2007), tetapi reaksinya berlangsung relatif lambat yang mengakibatkan kecepatan transfer massa rendah sehingga membutuhkan kontak permukaan yang besar. Untuk mempercepat laju absorpsi ditambahkan katalis (promotor) ke dalam larutan K_2CO_3 .

Beberapa penelitian terdahulu tentang pelarut atau aktivator ini telah dilakukan, diantaranya, Joe et al, 1994, melakukan penelitian mengenai solubilitas gas CO_2 dalam larutan campuran *Monoethanolamine* dan *Methyldiethanolamine*. Dari penelitian didapatkan bahwa penambahan MEA akan menurunkan tekanan parsial CO_2 namun ketika $\alpha > 0,7$ penambahan MEA akan menyebabkan kenaikan tekanan parsial CO_2 . Rasio MEA:MDEA yang optimal bergantung pada spesifikasi residual CO_2 dan energi *stripping*.

Kuswandi et al, 2008, melakukan penelitian mengenai data solubilitas gas CO_2 dalam larutan *Potassium Carbonat* (K_2CO_3) untuk meningkatkan kinerja proses absorpsi. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *wetted wall column* sebagai absorber dari berbagai konsentrasi *Potassium Carbonat* yaitu 10, 15, 20, 25, dan 30% massa dan suhu operasi 30, 40, 50, dan 60°C. Perhitungan estimasi menggunakan persamaan *vapour liquid equilibrium* (VLE) dan reaksi kimia metode NRTL. Hasil penelitian menunjukkan penurunan jumlah mol CO_2 yang terlarut dengan naiknya suhu serta konsentrasi larutan *Potassium Carbonat* dan perbandingan hasil estimasi menggunakan model ENRTL dengan hasil eksperimen menunjukkan sedikit perbedaan dan memberikan profil yang sama.

Menurut Kurniati et al, 2013, melakukan penelitian untuk memprediksi kelarutan CO_2 dalam larutan K_2CO_3 dengan promotor *amine* (DEA, MEA) dengan model elektrolit-UNIQUAC. Hasil penelitian menunjukkan kenaikan CO_2 loading menyebabkan kenaikan kelarutan CO_2 dan tekanan parsial CO_2 .

Kenaikan tekanan menyebabkan kenaikan kelarutan CO_2 , CO_2 loading, dan tekanan parsial CO_2 .

Altway et al, 2014, melakukan prediksi kesetimbangan uap-cair dengan pelarut K_2CO_3 -MDEA- H_2O . Didapatkan bahwa jumlah penambahan MDEA dapat meningkatkan besarnya loading dari CO_2 dan menurunkan tekanan parsial CO_2 dalam gas keluaran.

Benamor dan Al-Marri, 2015, meneliti kinetika reaksi dari penambahan *glycine* sebagai promotor beserta MDEA sebagai pelarut untuk menyerap CO_2 pada berbagai suhu dan konsentrasi *glycine*. Hasil penelitian menunjukkan konstanta laju reaksi akan meningkat nilainya dengan kenaikan konsentrasi *glycine* pada larutan, begitu pula dengan kenaikan suhu yang akan menaikkan konstanta laju reaksi.

Kuswandi et al, 2015, melakukan penelitian mengenai kesetimbangan uap-cair sistem larutan elektrolit CO_2 - K_2CO_3 -MDEA+DEA- H_2O pada suhu 30–50°C dengan 30% K_2CO_3 , 1-3% MDEA, dan 1-3% DEA. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa pada suhu konstan, tekanan parsial CO_2 meningkat dengan kenaikan CO_2 loading. Penambahan MDEA menurunkan CO_2 loading, mengindikasikan CO_2 yang terlarut meningkat dan tekanan parsial CO_2 juga semakin besar. Penambahan MDEA dan DEA menyebabkan tekanan parsial CO_2 yang kecil. Efek dari kenaikan suhu adalah dapat menaikkan CO_2 loading dan tekanan parsial CO_2 .

Kuswandi et al, 2015, melakukan penelitian mengenai kesetimbangan uap-cair sistem larutan elektrolit CO_2 - K_2CO_3 -Piperazine+DEA- H_2O pada suhu 30–50°C dengan 30% K_2CO_3 , variasi PZ-DEA dengan total 5% berat, dan variasi umpan gas CO_2 5-20%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai konstanta Henry meningkat dengan kenaikan suhu, pada konsentrasi CO_2 umpan dan promotor yang sama kenaikan suhu operasi menaikkan tekanan parsial CO_2 . Meningkatnya konsentrasi gas CO_2 dapat meningkatkan CO_2 loading.

Altway *et al*, 2016, melakukan penelitian mengenai kelarutan CO₂ dalam larutan elektrolit kalium karbonat dengan penambahan promotor amina (MDEA-DEA/PZ-DEA) pada suhu 303,15 – 323,15 K. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa dengan kenaikan CO₂ loading maka akan terjadi kenaikan tekanan parsial CO₂ serta kelarutan CO₂ menurun dengan kenaikan suhu. Pada larutan elektrolit kenaikan konsentrasi MDEA menaikkan tekanan parsial dari CO₂ dan CO₂ loading. Korelasi E-NRTL dapat dengan baik mengkorelasi data hasil percobaan

Pudjiastuti *et al*, 2015, melakukan penelitian mengenai kinetika dari absorpsi CO₂ dalam *glycine* dan *diethanolamine* (DEA). Penelitian menggunakan *wetted wall column* pada tekanan atmosfer dan pada suhu 303,15 – 328,15 K. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa kenaikan suhu akan meningkatkan laju absorpsi CO₂ oleh larutan DEA dan *glycine*, serta penambahan *glycine* sebagai promotor dapat meningkatkan laju absorpsi CO₂ dalam larutan DEA dan dapat menutupi kekurangan dari larutan DEA.

I.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan penelitian – penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengindikasikan bahwa *Potassium Carbonate* (K₂CO₃) mempunyai panas regenerasi yang rendah tetapi laju reaksinya lambat bila dibandingkan dengan senyawa *amine*. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa penambahan promotor *amine* dapat mempercepat terjadi proses absorpsi gas CO₂. Adapun salah satu contoh penelitian terdahulu adalah dengan penambahan promotor, yaitu penambahan DEA (*Diethanolamine*) dan promotor *Glycine* pada larutan K₂CO₃ kemudian dikorelasikan dengan model E-NRTL. DEA merupakan amina sekunder yang bisa menghilangkan CO₂ lebih sempurna karena amina sekunder memiliki hidrogen labil yang akan bereaksi dengan CO₂ membentuk karbamat yang akan mempercepat reaksi absorpsi CO₂. Bila dibandingkan dengan amina primer seperti MEA, DEA memiliki tekanan uap yang

lebih rendah sehingga mengurangi kehilangan karena penguapan, dapat digunakan untuk kandungan gas asam yang lebih tinggi, serta energi regenerasi yang lebih rendah. Panas reaksi DEA juga tidak terlalu tinggi yaitu 1700 kJ/kg. Reaksi antara DEA dengan CO_2 juga berlangsung lebih cepat dikarenakan reaksi membentuk karbamat yang mana pembentukan karbamat ini tidak terjadi pada reaksi antara MDEA dengan CO_2 . Tetapi kelemahan DEA adalah kurang reaktif bila dibandingkan dengan MEA dan susah untuk meregenerasinya kembali, membutuhkan distilasi vakum atau *ion exchange*. Selain itu terdapat reaksi samping *irreversible* dengan CO_2 dan membentuk produk korosif sehingga tidak terlalu baik untuk gas dengan kandungan CO_2 tinggi.

Glycine memiliki penampakan seperti air yaitu tidak mudah menguap, viskositas serta *surface tension* dari *glycine* mirip dengan air. *Glycine* merupakan amina primer yang memiliki kemampuan absorpsi CO_2 lebih baik dari DEA. Selain itu *glycine* memiliki stabilitas yang tinggi terhadap oksigen, sehingga tidak mudah terdegradasi oleh oksigen, memiliki ketahanan yang baik terhadap panas, dan memiliki laju reaksi yang tinggi dengan karbon dioksida. Oleh karena itu *glycine* dapat digunakan sebagai promotor dalam campuran ini.

Dari uraian di atas maka pada penelitian ini digunakan campuran DEA-*Glycine* sebagai promotor yang diharapkan bisa memiliki kecepatan reaksi lebih tinggi sehingga dapat menambah keuntungan pada kapasitas penyerapan, menurunkan panas regenerasi, tahan degradasi produk, tahan korosi, *fouling*, dan *foaming*. Data kesetimbangan yang didapatkan dari eksperimen dikorelasikan dengan model elektrolit-NRTL. Sehingga bisa didapatkan data pengaruh solubilitas gas CO_2 terhadap larutan K_2CO_3 -DEA-*Glycine*.

I.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data solubilitas CO_2 dalam larutan K_2CO_3 dengan promotor campuran (DEA-*Glycine*) dalam beberapa konsentrasi *solvent*, konsentrasi gas CO_2 dan beberapa suhu pada tekanan atmosferik.

I.4 Manfaat Penelitian

Data solubilitas CO_2 di dalam larutan K_2CO_3 dengan penambahan zat aditif campuran DEA-*Glycine* dapat dijadikan sebagai acuan pada perancangan kolom absorpsi untuk proses mereduksi gas CO_2 pada dunia industri.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Tinjauan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan meninjau beberapa penelitian tentang kesetimbangan uap-cair yang telah dilakukan sebelumnya, antara lain :

1. *Al-Ghawas et al.* (1989) melakukan penelitian mengenai properti fisikokimia untuk absorpsi CO_2 pada larutan MDEA.
2. *Jou et al.* (1994) melakukan eksperimen mengenai solubilitas CO_2 pada larutan campuran MDEA-MEA.
3. *Kuswandi et al.* (2008) melakukan eksperimen mengenai solubilitas CO_2 pada K_2CO_3 pada konsentrasi 10-30% dengan temperatur 30°C - 60°C .
4. *Kurniati et al.* (2013) melakukan eksperimen mengenai prediksi kelarutan CO_2 dalam larutan K_2CO_3 dengan promotor *amine* (DEA, MEA) dengan model elektrolit-UNIQUAC.
5. *Altway et al.* (2014) melakukan penelitian mengenai prediksi solubilitas CO_2 pada larutan K_2CO_3 -MDEA pada temperatur 25, 30, dan 100°C .
6. *Benamor dan Al-Marri.* (2015) melakukan penelitian efek penambahan *glycine* terhadap kinetika reaksi CO_2 dengan MDEA.
7. *Kuswandi et al.* (2015) melakukan eksperimen mengenai kesetimbangan uap-cair sistem larutan elektrolit CO_2 - K_2CO_3 -MDEA+DEA- H_2O pada suhu 30 – 50°C dengan 30% K_2CO_3 , 1-3% MDEA, dan 1-3% DEA.
8. *Kuswandi et al.* (2015) melakukan eksperimen mengenai kesetimbangan uap-cair sistem larutan elektrolit CO_2 - K_2CO_3 -(Piperazine+DEA)- H_2O pada suhu 30 – 50°C dengan 30% K_2CO_3 , variasi PZ-DEA 5% berat, dan variasi konsentrasi umpan CO_2 5-20%

9. *Pudjiastuti et al.* (2015) melakukan penelitian mengenai kinetika dari absorpsi CO₂ dalam *glycine* dan *diethanolamine* (DEA).
10. *Altway et al* (2016) melakukan penelitian mengenai kelarutan CO₂ dalam larutan elektrolit kalium karbonat dengan penambahan promotor amina (MDEA-DEA/PZ-DEA) pada suhu 303,15 – 323,15 K.

II.2 Metode Absorpsi

Absorpsi adalah suatu proses pemisahan suatu komponen fluida dari campurannya dengan menggunakan *solvent* atau fluida lain. Cairan yang digunakan juga umumnya tidak mudah menguap dan larut dalam gas. Sebagai contoh yang umum dipakai adalah absorpsi amonia dari campuran udara-amonia oleh air. Setelah absorpsi terjadi, campuran gas akan di-*recovery* dengan cara distilasi.

Terdapat beberapa hal lain yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan *solvent*, yaitu:

1. Kelarutan Gas
Kelarutan gas harus tinggi, sehingga menaikkan *rate* absorpsi dan mengurangi jumlah *solvent* yang dibutuhkan. Umumnya suatu *solvent* yang memiliki sifat kimia hampir sama dengan *solute* yang diabsorpsi akan memberikan kelarutan yang baik. Reaksi kimia antara *solvent* dan *solute* akan terjadi pada kelarutan gas yang sangat tinggi.
2. Volatilitas
Pelarut atau *solvent* harus memiliki tekanan uap yang rendah dimana gas saat meninggalkan suatu proses absorpsi biasanya akan terjenuhkan dengan *solvent* dan mungkin banyak hilang.
3. Korosivitas
Pelarut hendaknya memiliki nilai korosivitas yang kecil, sehingga material konstruksi alat tidak terlalu mahal.

4. Viskositas
Pelarut harus mempunyai harga viskositas yang rendah sehingga proses absorpsi berjalan cepat, *pressure drop* kecil pada saat pemompaan, memberikan sifat perpindahan panas yang baik dan meningkatkan karakteristik *loading* dalam menara absorpsi.
5. Hal-hal lain yang meliputi: *solvent* harus *nontoxic*, *non flammable*, memiliki komposisi kimia yang stabil dan titik bekunya rendah
6. Harga dari pelarut harus murah, dan mudah untuk didapat.

II.3 Bahan Pelarut

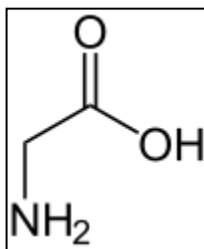
Pelarut yang digunakan dalam percobaan ini adalah *Diethanolamine* (DEA), Glisin, dan Kalium Karbonat. Berikut properti DEA, Glisin, dan Kalium Karbonat.

II.3.1 Glisin

Tabel II.1 Sifat Fisik Glisin

Formula	$C_2H_5NO_2$
Berat molekul	75,07 gram/mol
Titik leleh	233°C
Kenampakan	Padatan berwarna putih
Massa jenis	1,607 gram/cm ³

(MSDS Science Lab)



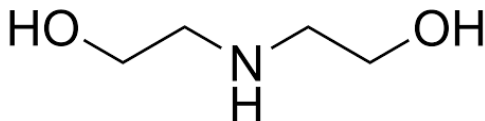
Gambar II.1 Struktur bangun glisin

II.3.2 Diethanolamine (DEA)

Tabel II.2 Sifat Fisik DEA

Formula	$C_4H_{11}NO_2$
Berat molekul	105,14 gram/mol
Titik leleh	$28^{\circ}C$
Kenampakan	Liquid viskos
Massa jenis	$1,1 \text{ gram/cm}^3$

(MSDS Science Lab)



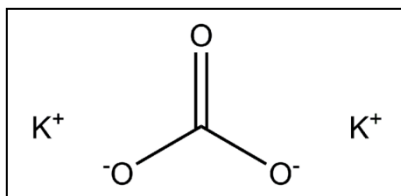
Gambar II.2 Struktur bangun DEA

II.3.3 Kalium Karbonat

Tabel II.3 Sifat Fisik Kalium Karbonat

Formula	K_2CO_3
Berat molekul	138,205 gram/mol
Titik leleh	$891^{\circ}C$
Kenampakan	Padatan solid higroskopis
Massa jenis	$2,43 \text{ gram/cm}^3$

(MSDS Science Lab)



Gambar II.3 Struktur bangun Kalium karbonat

II.4 Keketimbangan Fase

Kriteria keketimbangan fase pada sistem tertutup meliputi kesamaan suhu, tekanan, potensial kimia setiap komponen pada masing-masing fase dan energi bebas Gibbs total mencapai minimum.

Pada umumnya, potensial kimia suatu komponen ditransformasikan sebagai fugasitas komponen tersebut, yaitu :

$$\hat{f}_i^L = \hat{f}_i^V \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.1)$$

Aturan *Lewis/Randall* mendefinisikan fugasitas untuk larutan ideal adalah fungsi dari konsentrasi :

$$\hat{f}_i^{ideal} = x_i f_i \quad (2.2)$$

Di mana x_i adalah fraksi mol dari spesies i . Apabila larutan tidak ideal, maka faktor koreksi digunakan untuk menyatakan koefisien aktivitas γ .

$$\gamma_i = \frac{\hat{f}_i}{\hat{f}_i^{ideal}} = \frac{\hat{f}_i}{x_i f_i} \quad (2.3)$$

Keketimbangan uap-cair direpresentasikan dalam fugasitas sebagai fungsi dari konsentrasi dan tekanan. Untuk spesies i dalam campuran uap:

$$\hat{f}_i^V = y_i \hat{\phi}_i P \quad (2.4)$$

Untuk spesies i dalam larutan cair:

$$\hat{f}_i^L = x_i \gamma_i f_i \quad (2.5)$$

Pada kondisi keketimbangan maka berlaku (formulasi gamma phi VLE):

$$y_i \hat{\phi}_i P = x_i \gamma_i f_i \quad (2.6)$$

Persamaan fugasitas spesies i murni adalah:

$$f_i = \phi_i^s P_i^s \exp\left(\frac{V_i^L (P - P_i^s)}{RT}\right) \quad (2.7)$$

Faktor eksponensial tersebut dikenal sebagai faktor poynting.

Substitusi persamaan (2.7) ke (2.6) maka didapat:

$$y_i \hat{\phi}_i P = x_i \gamma_i \phi_i^s P_i^s \exp\left(\frac{V_i^L (P - P_i^s)}{RT}\right) \quad (2.8)$$

atau

$$y_i \Phi_i P = x_i \gamma_i P_i^s \quad (2.9)$$

dimana:

$$\Phi_i = \frac{\hat{\phi}_i}{\phi_i^s} \exp\left(-\frac{V_i^L (P - P_i^s)}{RT}\right) \quad (2.10)$$

Pada tekanan rendah, persamaan VLE yang lebih realistis hanya menganggap fase uap sebagai model gas ideal dimana:

$$\hat{\phi}_i = \hat{\phi}_i^s = 1 \text{ dan } P - P_i^s \cong 0 ,$$

sehingga :

$$\exp\left(-\frac{V_i^L (P - P_i^s)}{RT}\right) = 1$$

Sehingga harga $\Phi_i = 1$, atau persamaan (2.9) menjadi :

$$y_i P = x_i \gamma_i P_i^s \quad (2.11)$$

Kondisi kesetimbangan dinyatakan dengan energi Gibbs (G) yang dimiliki sistem tersebut, perubahan energi Gibbs yang terjadi untuk semua proses irreversibel dinyatakan :

$$dG^{Tot} \leq 0 \quad (2.12)$$

Maksud dari pertidaksamaan di atas adalah dalam sistem tertutup pada tekanan dan temperatur tetap, apabila perubahan properti terjadi maka energi Gibbs total akan menurun. Dengan kata lain energi Gibbs akan minimal pada kondisi kesetimbangan.

Energi Gibbs total memberikan kondisi umum suatu kesetimbangan. Untuk larutan, digunakan istilah energi Gibbs eksek yang merepresentasikan penyimpangan dari larutan ideal.

$$G_i^{ex} = G_i - G_i^{ideal} \quad (2.13)$$

Dimana G_i merupakan energi Gibbs molar untuk spesies i :

$$G_i = \Gamma(T) + RT \ln \hat{f}_i \quad (2.14)$$

$\Gamma(T)$ adalah konstanta integrasi.

Substitusi Persamaan (2.14) ke Persamaan (2.13) dan menggabungkan dengan aturan *Lewis/Randall* maka diperoleh :

$$G_i^{ex} = RT \ln \frac{\hat{f}_i}{x_i f_i} = RT \ln \gamma_i \quad (2.15)$$

II.5 Hukum Henry

Untuk sistem $\text{CO}_2\text{-K}_2\text{CO}_3\text{-DEA-GLISIN}$ dengan CO_2 sebagai *solute*, digunakan pendekatan hukum *Henry* untuk perhitungan koefisien aktifitas CO_2 yaitu :

$$P_{\text{CO}_2} = \frac{H_{\text{CO}_2} \cdot n_{\text{CO}_2}}{v} \quad (2.16)$$

Sebagai *reference state* digunakan pengenceran tak berhingga dalam air sehingga $\gamma_{\text{CO}_2}^* \rightarrow 1$, dan konstanta *Henry* untuk air murni adalah :

$$H_{\text{CO}_2}^w = \frac{P_{\text{CO}_2}}{x_{\text{CO}_2}} \quad (2.17)$$

Koefisien aktivitas dalam campuran *solvent* dinyatakan :

$$\gamma_{\text{CO}_2}^* = \frac{H_{\text{CO}_2}}{H_{\text{CO}_2}^w} \quad (2.18)$$

Konstanta *Henry* CO_2 dalam campuran *solvent* dicari dari data kelarutan CO_2 (eksperimen), sedangkan konstanta *Henry* CO_2

dalam air murni ditentukan dari persamaan korelasi sebagai berikut (*Austgen et al*, 1991) :

$$\ln H_{CO_2}^w = 170,7126 - 8477,711/T - 21,95743 \ln T + 0,005781T \quad (2.19)$$

konstanta *Henry* dalam satuan Pa, T adalah temperatur sistem dalam Kelvin.

II.6 Kestimbangan Reaksi Kimia

Permasalahan dalam menentukan komposisi kesetimbangan pada sistem reaktif membutuhkan sebuah kondisi dan informasi spesifik mengenai komponen yang ada dalam sistem tertutup. Konstanta kesetimbangan untuk tiap-tiap reaksi dalam sistem tertutup diberikan oleh *Smith et al* (2001), yaitu :

$$K = \prod_i (x_i \gamma_i)^{v_i} = \exp\left(\frac{-\Delta G}{RT}\right) \quad (2.20)$$

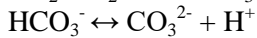
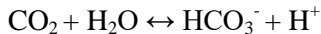
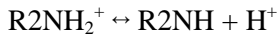
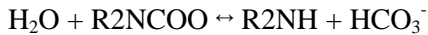
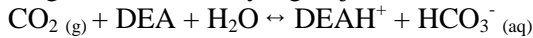
Sedangkan hubungan ΔG dan ΔH diberikan oleh persamaan :

$$\Delta H = -RT^2 \frac{d(\Delta G / RT)}{dT} \quad (2.21)$$

Kombinasi Persamaan (2.20) dan Persamaan (2.21) :

$$\int d(\ln K) = \int \frac{\Delta H}{RT^2} dT \quad (2.22)$$

Pada sistem larutan CO_2 - K_2CO_3 -DEA-GLISIN kesetimbangan reaksi kimia yang terjadi adalah :



Pada larutan Kalium Karbonat tidak pekat, gas CO₂ bereaksi dengan prinsip mekanisme reaksi asam basa berpenyangga dengan senyawa alkanolamine dimana reaksi kesetimbangannya dapat dituliskan sebagai reaksi disosiasi kimia.

Untuk molekular *solute*, CO₂, kesetimbangan fisika diekspresikan oleh :

$$y_m \phi_m P = x_m \gamma_m^* H_{m,w}^{(P_w^s)} \exp \frac{\bar{v}_{m,w}^\infty (P - P_w^s)}{RT} \quad (2.30)$$

Di mana $H_{m,w}^{(P_w^s)}$ adalah konstanta *Henry solute* dalam air pada temperatur sistem, ϕ_m koefisien fugasitas, P tekanan sistem, P_w^s tekanan uap pada air murni pada temperatur sistem T, dan $\bar{v}_{m,w}^\infty$ adalah parsial molar volume untuk molekular *solute* m pada pelarutan tak berhingga dalam air.

Untuk air, VLE diekspresikan oleh :

$$y_{H_2O} \phi_{H_2O} P = x_{H_2O} \gamma_{H_2O}^s P_w^s \exp \frac{v_w^l (P - P_w^s)}{RT} \quad (2.31)$$

Di mana ϕ_w^s adalah koefisien fugasitas untuk air jenuh pada temperatur sistem dan v_w^l volume molar untuk air murni pada temperatur sistem.

Volume molar air murni dapat dicari dengan cara massa molekul relatif dari air murni dibagi dengan densitasnya, sedangkan tekanan uap jenuh dari air murni diperoleh dari persamaan *Antoine*.

II.7 Model Elektrolit *Non Random Two Liquid* (E-NRTL)

Secara umum energi Gibbs eksek pada model E-NRTL merupakan gabungan dari dua faktor yaitu *long range* (LR) forces dan *short range* (SR) forces. Pada larutan encer dimana jarak antar molekul cukup jauh maka energi Gibbs eksek didominasi

oleh interaksi LR *force*. Sedangkan pada larutan pekat dimana jarak antar molekul lebih dekat maka energi Gibbs eksres didominasi oleh interaksi SR *force*.

Austgen et al (1989) mengembangkan model elektrolit NRTL yang dalam hal ini terdiri dari tiga kontribusi. Pertama, *Long Range force* terdiri dari dua kontribusi yaitu model PDH (Pitzer-Debye-Huckel) yang menghitung adanya kontribusi elektrostatis antar semua ion. Kontribusi kedua yaitu kontribusi *ion-reference-state-transfer* yang dinyatakan dengan, model persamaan Born. Ketiga adalah kontribusi *short range* yang dinyatakan dengan persamaan *local composition* elektrolit NRTL yang menghitung adanya interaksi *short range* semua spesies. Pendekatan yang digunakan adalah dengan mengasumsikan bahwa energi Gibbs dari sistem elektrolit dapat dianggap sebagai penjumlahan 2 bentuk, pertama dihubungkan pada *long range forces* antara ion-ion dan lainnya pada *short range forces* antara semua spesies.

Total kontribusi terhadap energi Gibbs eksres adalah :

$$\frac{g_i^{ex^*}}{RT} = \frac{g_{LR,i}^{ex^*}}{RT} + \frac{g_{SR,i}^{ex^*}}{RT} = \left(\frac{g_{PDH,i}^{ex^*}}{RT} + \frac{g_{Born,i}^{ex^*}}{RT} \right) + \frac{g_{lc,i}^{ex^*}}{RT} \quad (2.32)$$

Atau

$$\ln \gamma_i = (\ln \gamma_{PDH,i} + \ln \gamma_{Born,i}) + \ln \gamma_{lc,i} \quad (2.33)$$

II.7.1 Long Range Forces

Rumus Pitzer-Debye-Huckel digunakan untuk menunjukkan kontribusi interaksi ion-ion *long range*, yang mana sangat penting pada konsentrasi yang rendah. Model Pitzer-Debye-Huckel adalah ekspresi untuk energi Gibbs eksres, dimana nilai fraksi mol adalah satu untuk pelarut dan nol untuk ion-ion. Model Pitzer-Debye-Huckel ini merepresentasikan energi Gibbs eksres sebagai:

$$g_{PDH}^{ex^*} = -RT \left(\sum_k x_k \right) \left(\frac{1000}{MW} \right)^{0.5} \left(\frac{4A_\phi I_x}{\rho} \right) \ln(1 + \rho I_x^{0.5}) \quad (2.34)$$

dimana:

x = fraksi mol

MW = berat molekul

ρ = parameter pendekatan model PDH yang terdekat

I_x = daya ionik yang dinyatakan dalam fraksi mol dan muatan z

$$I_x = \frac{1}{2} \sum_i x_i z_i^2 \quad (2.35)$$

Tanda (*) merujuk pada energi Gibbs eksese tak simetris.

Parameter Debye-Huckel, A_ϕ didapat dari :

$$A_\phi = \frac{1}{3} \left(\frac{2\pi N_0 \rho_s}{1000} \right)^{0.5} \left(\frac{e^2}{D_s k T} \right)^{1.5} \quad (2.36)$$

dimana:

N_0 = bilangan Avogadro (6.02×10^{23})

ρ_s = densitas pelarut

e = muatan elektron (1.6×10^{-19} Coulomb)

D_s = konstanta dielektrik pelarut

k = konstanta Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K)

Konstanta dielektrik dari pelarut dihitung sebagai :

$$D_s = \sum_i x_i D_i \quad (2.37)$$

dimana:

x_i = fraksi massa spesies i

D_i = konstanta dielektrik spesies i

II.7.2 Persamaan Born

Pada pelarut campuran, kondisi acuan untuk ion-ion menjadi kacau karena perubahan konstanta dielektrik. Persamaan Born diperkenalkan untuk kontribusi long-range terhadap energi Gibbs guna mempertahankan kondisi acuan pada pengenceran tak berhingga dengan air untuk ion-ion tersebut. Bentuk persamaannya adalah :

$$g_{Born}^{ex} = RT \left(\frac{e^2}{2kT} \right) \left(\sum_i \frac{x_i z_i^2}{r_i} \right) \left(\frac{1}{D_m} - \frac{1}{D_w} \right)^{1/2} x 10^{-2} \quad (2.38)$$

Dimana D_m dan D_w masing-masing adalah konstanta dielektrik campuran pelarut dan air. Koreksi ini menentukan perbedaan energi Gibbs di antara ion-ion dalam campuran pelarut dan dalam air.

II.7.3 NRTL Term Sebagai Kontribusi *Local Composition*

Saat larutan menjadi lebih pekat, *term* yang mendeskripsikan interaksi di antara spesies netral dan spesies ionik dan spesies netral dan spesies netral menjadi penting. Interaksi tersebut digambarkan secara lokal, atau *short-range forces*. Wilson (1964) menurunkan persamaan untuk energi pencampuran non-elektrolit. Dasar penurunan adalah distribusi molekul i dan j , di sekitar pusat molekul i , diberikan oleh :

$$\frac{x_{ij}}{x_{ii}} = \frac{x_j \exp\left(-\frac{g_{ji}}{RT}\right)}{x_k \exp\left(-\frac{g_{ii}}{RT}\right)} \quad (2.39)$$

Renon dan Praunitz (1968) merumuskan ulang persamaan di atas dalam model NRTL, hingga pada modifikasi distribusi molekuler untuk menghitung pencampuran non-random :

$$\frac{x_{ij}}{x_{ii}} = \frac{x_j \exp\left(-\alpha_{ij} \frac{g_{ji}}{RT}\right)}{x_i \exp\left(-\alpha_{ij} \frac{g_{ii}}{RT}\right)} \quad (2.40)$$

α adalah parameter variabel. Nilainya berkisar antara 0,1 hingga 0,4 tergantung dari molekul dan molekul dan pelarut dalam

sistem (Cullinane, 2004). Penambahan parameter *non-random* α , memperluas aplikasi model NRTL.

Baik antara model Wilson dan NRTL, keduanya menggunakan persamaan energi Gibbs bebas pencampuran dalam bentuk :

$$\frac{g^M}{RT} = \sum_i x_i \ln \xi_i \quad (2.41)$$

Dimana ξ adalah fraksi volume i sekitar pusat molekul. Fraksi volume diturunkan dari distribusi molekuler yang diberikan di atas dan dapat ditulis :

$$\xi_i = \frac{x_i V_i \exp\left(-\frac{g_{ij}}{RT}\right)}{\sum_j x_j V_j \exp\left(-\frac{g_{ij}}{RT}\right)} \quad (2.42)$$

Dimana V menunjukkan volume molar. Energi dari pencampuran dihubungkan dengan energi Gibbs eksek melalui eksek melalui persamaan:

$$\frac{g^{ex}}{RT} = \frac{g^M}{RT} - \sum_i x_i \ln x_i \quad (2.43)$$

Chen, dkk (1986) mengembangkan persamaan ini untuk larutan multi-komponen dari spesies netral maupun ionik. Pengembangan model ini oleh *Chen*, menggabungkan tiga sel atau grup yang berbeda dari interaksi ion dan molekul, dengan membuat 2 asumsi untuk gambaran fisik dari interaksi spesies:

1. Dua sel termasuk pusat kation, c atau pusat anion, a , dan diasumsikan mengalami saling-tolak untuk ion sejenis. Ini berarti pusat ion dikelilingi oleh molekul dan ion yang berbeda muatan.
2. Satu sel terdiri dari sebuah pusat molekul lokal, m , dengan muatan netral, yaitu muatan sekitar pusat molekul sama dengan nol.

Interaksi antar sel dapat didefinisikan sebagai interaksi dua spesies. Energi Gibbs dapat dimodelkan sebagai fungsi dari interaksi model berikut :

$$\tau_{ji,ki} = \frac{G_{ji} - G_{ki}}{RT} \quad (2.44)$$

Dalam sistem elektrolit, semua komponen dapat dikategorikan dalam tiga tipe :

- a. Spesies molekul (m) : *solute* dan *solvent*
- b. Spesies cationic (c) : kation
- c. Spesies anionic (a) : anion

Sebuah model global dapat disusun sebagai jumlah interaksi spesifik spesies pada komposisi rata – rata larutan. Sehingga energi Gibbs eksek dari *local interaction* dapat diprediksi dari model NRTL sebagai berikut :

Sebuah model global dapat disusun sebagai jumlah ineteraksi spesifik spesies pada komposisi rerata larutan. Sehingga energi Gibbs eksek dari *local interaction* dapat diprediksi dari model NRTL sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{G_{lc}^{ex}}{RT} = & \sum_m \left(X_m \frac{\sum_j X_j G_{jm} \tau_{jm}}{\sum_k X_k G_{km}} \right) + \sum_c X_c \left(\sum_{a'} \left(\frac{X_{a'} \sum_j G_{jc,a'c} \tau_{jc,a'c}}{\sum_{a''} X_{a''} \sum_k X_k G_{kc,a'c}} \right) \right) + \\ & \sum_a X_a \left(\sum_{c'} \left(\frac{X_{c'} \sum_j G_{ja,c'a} \tau_{ja,c'a}}{\sum_{c''} X_{c''} \sum_k X_k G_{ka,c'a}} \right) \right) \end{aligned} \quad (2.45)$$

$$X_j = C_j x_j \quad ; \quad j = m, c, a \quad (2.46)$$

$$x_j = \frac{n_j}{\sum_j n_j} \quad (2.47)$$

$$G_{ja,c'a} = \exp(-\alpha_{ja,c'a} \tau_{ja,c'a}) \quad (2.48)$$

$$G_{jc,a'c} = \exp(-\alpha_{jc,a'c} \tau_{jc,a'c}) \quad (2.49)$$

$$G_{jm} = \exp(-\alpha_{im} \tau_{im}) \quad (2.50)$$

dimana :

$X_j = x_j C_j$; ($C_j = Z_j$ untuk ion-ion dan sama dengan 1 untuk molekul)

α = parameter *nonrandomness*

τ = parameter interaksi biner

Koefisien aktivitas untuk masing-masing komponen dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \ln \gamma_m^{lc} = & \frac{\sum_j X_j G_{jm} \tau_{jm}}{\sum_k X_k G_{km}} - \sum_{m'} \frac{X_{m'} G_{mm'}}{\sum_k X_k G_{km'}} \left(\tau_{mm'} - \frac{\sum_k X_k G_{km'} \tau_{km'}}{\sum_k X_k G_{km'}} \right) \\ & + \sum_c \sum_a \frac{Y_a X_c G_{mc,ac}}{\sum_k X_k G_{kc,ac}} \left(\tau_{mc,ac} - \frac{\sum_k X_k G_{kc,ac} \tau_{kc,ac}}{\sum_k X_k G_{kc,ac}} \right) \\ & + \sum_a \sum_c \frac{Y_c X_a G_{ma,ca}}{\sum_k X_k G_{ka,ca}} \left(\tau_{ma,ca} - \frac{\sum_k X_k G_{ka,ca} \tau_{ka,ca}}{\sum_k X_k G_{ka,ca}} \right) \end{aligned} \quad (2.51)$$

Untuk spesies kation :

$$\begin{aligned} \frac{1}{z_c} \ln \gamma_c^{lc} = & \sum_a Y_a \frac{\sum_k X_k G_{kc,ac} \tau_{kc,ac}}{\sum_k X_k G_{kc,ac}} + \sum_m \frac{X_m G_{cm}}{\sum_k X_k G_{km}} \left(\tau_{cm} - \frac{\sum_k X_k G_{km} \tau_{km}}{\sum_k X_k G_{km}} \right) \\ & + \sum_{a'} \sum_{c'} \frac{Y_{c'} X_a G_{ca,c'a}}{\sum_k X_k G_{ka,c'ac}} \left(\tau_{ca,c'a} - \frac{\sum_k X_k G_{km,c'a} \tau_{km,c'a}}{\sum_k X_k G_{km,c'a}} \right) \end{aligned} \quad (2.52)$$

Untuk spesies anion :

$$\begin{aligned} \frac{1}{z_a} \ln \gamma_a^{lc} = & \sum_c Y_{aca} \frac{\sum_k X_k G_{ka,ca} \tau_{ka,ca}}{\sum_k X_k G_{ka,ca}} + \sum_m \frac{X_m G_{am}}{\sum_k X_k G_{km}} \left(\tau_{am} - \frac{\sum_k X_k G_{km} \tau_{km}}{\sum_k X_k G_{km}} \right) \\ & + \sum_{c'} \sum_{a'} \frac{Y_{a'} X_c G_{ac,a'c}}{\sum_k X_k G_{kc,a'cc}} \left(\tau_{ac,a'c} - \frac{\sum_k X_k G_{ka,a'c} \tau_{kc,a'c}}{\sum_k X_k G_{ka,a'c}} \right) \end{aligned} \quad (2.53)$$

Dari persamaan (2.46)-(2.54) dibutuhkan parameter-parameter sebagai berikut :

Nonrandomness parameter

$$\begin{aligned} \alpha_{mm'} &= \alpha_{m'm'}, \alpha_{m,cm} = \alpha_{cm,m}, \alpha_{ca,ca'} = \alpha_{ca'ca}, \alpha_{ca,c'a} \\ &= \alpha_{c'a,ca}, \alpha_{cm}, \alpha_{am}, \alpha_{mc,ac}, \alpha_{ma,ca} \end{aligned}$$

Binary interaction parameter

$$\begin{aligned} \tau_{mm'}, \tau_{m'm'}, \tau_{m,ca}, \tau_{ca,m}, \tau_{ca,ca'}, \tau_{ca'ca}, \tau_{ca,c'a}, \tau_{c'a,ca}, \\ \tau_{cm}, \tau_{am}, \tau_{mc,ac}, \tau_{ma,ca} \end{aligned}$$

Binary interaction parameter dihitung dari model *binary parameter* yang telah disesuaikan. Dan, dapat dihitung sebagai berikut :

$$\alpha_{cm} = \sum_a Y_a \alpha_{m,ca} \quad (2.54)$$

$$\alpha_{am} = \sum_c Y_c \alpha_{m,ca} \quad (2.55)$$

Jumlah fraksi komposisi muatan anion, Y_a , dan jumlah fraksi komposisi muatan kation, Y_c , dapat dihitung sebagai berikut :

$$Y_a = \frac{X_a}{\sum_{a'} X_{a'}} \quad (2.56)$$

$$Y_c = \frac{X_c}{\sum_{c'} X_{c'}} \quad (2.57)$$

Kemudian, G_{cm} dan G_{am} dapat dihitung sebagai berikut :

$$G_{cm} = \sum_a Y_a G_{ca,m} \quad (2.58)$$

$$G_{am} = \sum_c Y_c G_{ca,m} \quad (2.59)$$

Kemudian, τ_{cm} dan τ_{am} dapat dihitung sebagai berikut :

$$\tau_{cm} = -\frac{\ln(G_{cm})}{\alpha_{cm}} \quad (2.60)$$

$$\tau_{am} = -\frac{\ln(G_{am})}{\alpha_{am}} \quad (2.61)$$

Selanjutnya dapat dihitung parameter – parameter yang lain sebagai berikut :

$$\alpha_{mc,ac} = \alpha_{cm} \quad (2.62)$$

$$\alpha_{ma,ca} = \alpha_{am} \quad (2.63)$$

$$\tau_{ma,ca} = \tau_{am} - \frac{\alpha_{ca,m}}{\alpha_{ma,ca}} (\tau_{ca,m} - \tau_{m,ca}) \quad (2.64)$$

$$\tau_{mc,ac} = \tau_{cm} - \frac{\alpha_{ca,m}}{\alpha_{mc,ac}} (\tau_{ca,m} - \tau_{m,ca}) \quad (2.65)$$

$$G_{mc,ac} = \exp(\alpha_{mc,ac} \tau_{mc,ac}) = \exp(\alpha_{cm} \tau_{mc,ac}) \quad (2.66)$$

$$G_{ma,ca} = \exp(\alpha_{ma,ac} \tau_{ma,ac}) = \exp(\alpha_{am} \tau_{ma,ac}) \quad (2.67)$$

Kondisi acuan kontribusi NRTL dapat dikonversikan ke bentuk asimetri dengan koreksi terhadap koefisien aktivitas pelarutan tak berhingga.

$$g_{NRTL}^{ex} = \frac{g_{NRTL}^{ex}}{RT} + \left(\sum_{m \neq w} x_m \ln \gamma_m^\infty + \sum_c x_c \ln \gamma_c^\infty + \sum_a x_a \ln \gamma_a^\infty \right) \quad (2.68)$$

$$\ln \gamma_m^\infty = \tau_{wm} + G_{mw} \tau_{mw} \quad (2.69)$$

$$\ln \gamma_c^\infty = Z_c \left(G_{cw} \tau_{cw} + \frac{\sum_{a'} x_{a'} \tau_{wc,a'c}}{\sum_{a''} x_{a''}} \right) \quad (2.70)$$

$$\ln \gamma_a^\infty = Z_a \left(G_{aw} \tau_{aw} + \frac{\sum_{c'} x_{c'} \tau_{wa'a}}{\sum_{c''} x_{c''}} \right) \quad (2.71)$$

Subskrip w menunjukkan air.

II.8 Parameter Interaksi pada Model E-NRTL

Ada tiga jenis parameter interaksi biner dalam kontribusi NRTL untuk energi Gibbs eksese yaitu, molekul-molekul, molekul-pasangan ion, pasangan ion-pasangan ion (anion-kation). Parameter interaksi molekul-molekul τ dinyatakan dengan persamaan :

$$\tau = A + B/T(K) \quad (2.72)$$

Dimana $A = B = 0$

Parameter interaksi untuk molekul pasangan ion dan pasangan in molekul sesuai persamaan berikut :

$$\tau = A + B \left(\frac{1}{T(K)} - \frac{1}{353.15(K)} \right) \quad (2.73)$$

Untuk pasangan molekul-ion :

$$A = 15$$

$$B = 0$$

Untuk pasangan ion-molekul :

$$A = -8$$

$$B = 0$$

Jika molekul yang digunakan adalah air, Untuk pasangan molekul- ion :

$$A = -8$$

$$B = 0$$

Untuk pasangan ion- molekul :

$$A = -4$$

$$B = 0$$

Harga faktor *non-random* NRTL adalah 0,2 untuk molekul – molekul, air – pasangan ion dan pasangan ion – air (Liu, 1999). Sedangkan untuk pasangan amine – ion adalah 0,1. Interaksi antar pasangan ion pada umumnya tidak signifikan dan tidak dimasukkan dalam model ini.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Deskripsi Penelitian

Secara garis besar penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan data solubilitas gas CO_2 dalam sistem K_2CO_3 -(DEA+*Glycine*)- H_2O pada tekanan atmosfer dan suhu 30°C , 40°C dan 50°C dalam berbagai konsentrasi pelarut (DEA+*Glycine*) dan beberapa konsentrasi gas CO_2 .

Solubilitas CO_2 diperlukan untuk menganalisa data absorpsi eksperimen agar dapat menentukan kinetika reaksi dengan amine atau untuk digunakan dalam model prediksi laju absorpsi gas. Semua sifat ini tidak selalu dapat diukur secara langsung dengan metode eksperimen karena gas akan terjadi reaksi kimia dengan *solvent*-nya.

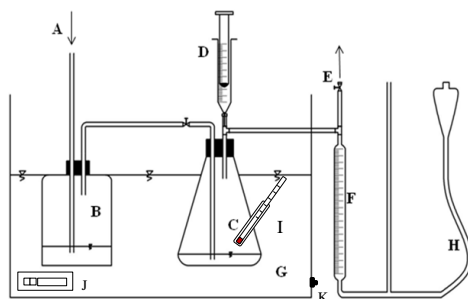
Kemiripan struktur molekul dan parameter interaksi molekular antara CO_2 dan N_2O (Clarke, 1964), mengasumsi bahwa rasio solubilitas CO_2 dan N_2O dalam air dan dalam larutan encer dari solven organik mendekati 5% pada temperatur sama. Hal ini berarti rasio $H_{\text{CO}_2}/H_{\text{N}_2\text{O}}$ dalam air dan larutan dengan konsentrasi amine yang berbeda dianggap konstan pada temperatur konstan.

Metode penelitian yang akan dilakukan terdiri dari beberapa langkah, yakni langkah pertama melakukan eksperimen dengan menggunakan gas N_2O untuk memperoleh nilai konstanta Henry CO_2 . Langkah kedua, melakukan eksperimen dengan menggunakan gas CO_2 , dan dapat diperoleh nilai tekanan parsial CO_2 . Langkah terakhir melakukan korelasi dengan model E-NRTL.

III.2 Peralatan Percobaan

Peralatan yang digunakan dalam percobaan ini didasarkan pada peralatan yang digunakan dalam eksperimen Al-Ghawas, *et al* (1989). Skema alat dapat dilihat pada gambar III.1. Prinsip

kerja dari metode ini yaitu mengkontakkan volume tertentu suatu liquid dengan sejumlah gas pada temperatur dan tekanan konstan. Kesetimbangan bisa dicapai dengan adanya pengadukan hingga waktu tertentu sampai tercatat tidak ada perubahan dalam volume gas. Perubahan pada volume gas menyatakan bahwa ada sejumlah gas yang terlarut dalam liquid.



Keterangan :

- A. Gas CO_2
- B. *Saturation Flask*
- C. *Absorption Flask*
- D. *Injektor Liquid*
- E. Ke udara luar
- F. Buret 50 mL
- G. *Waterbath with shaker*
- H. *Movable barometric leg*
- I. *Thermocouple*
- J. *Temperature Display/Power*

Gambar III.1 Skema Peralatan Solubilitas CO_2

III.3 Bahan Percobaan

Bahan-bahan utama yang digunakan dalam percobaan :

1. Campuran gas $\text{CO}_2 - \text{N}_2$ (5,10,15,dan 20% CO_2)
2. Gas Nitrogen Oksida (N_2O) $\geq 99 \%$
3. Kalium Karbonat (K_2CO_3) $\geq 99\%$ Merck
4. *Diethanolamine* (DEA) $\geq 99 \%$ Merck
5. *Glycine*

6. Asam Klorida (HCl) 3 M
7. Metil Oranye (MO)
8. *Phenolphthaline* (PP)

III.4 Variabel Penelitian

Variabel dalam percobaan ini adalah:

1. Temperatur : 30°C, 40°C, dan 50°C
2. Komposisi larutan DEA+*Glycine* : 0-5%
3. Komposisi gas CO₂ : 5-20% CO₂ – sisanya N₂

III.5 Pelaksanaan Percobaan

III.5.1 Persiapan Percobaan

Larutan amine disiapkan terlebih dahulu, yakni melarutkan K₂CO₃, dan DEA+*Glycine* dengan aquabides dengan kemurnian >99%. Konsentrasi larutan diukur dengan metode titrasi. Densitas larutan amine dan komponen-komponen murni ditentukan dengan menggunakan alat piknometer. Temperatur *waterbath* dikontrol dengan perbedaan $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$.

III.5.2 Prosedur Penelitian

1. Membuat sampel penelitian dengan campuran 30% K₂CO₃, 0-5% DEA dan 0-5% *Glycine*.
2. Mempersiapkan kondisi peralatan dengan cara mengalirkan campuran gas CO₂-N₂ ke dalam rangkaian alat selama ± 5 menit.
3. Menutup kedua keran sehingga gas CO₂ dalam keadaan tertutup rapat dalam peralatan.
4. Mengkondisikan *movable barometric leg* untuk menghasilkan tingkat manometer air yang sama pada kedua kaki buret. Dengan melakukan hal ini, tekanan di dalam peralatan dibuat sama dengan tekanan atmosfer di sekitarnya, yang diukur oleh manometer air.
5. Melakukan injeksi larutan sebanyak 20 mL dengan jarum suntik ke dalam *absorption flask* dan mencatat setiap perubahan level pada manometer air.

6. Mengaduk sampel dengan *waterbath shaker*.
7. Mengukur volume gas setiap 4-5 menit sampai kesetimbangan tercapai. Kesetimbangan dikatakan tercapai ketika level pada manometer air tidak berubah.
8. Melakukan langkah yang sama untuk nilai variabel penelitian yang lain.
9. Melakukan perhitungan tekanan parsial CO₂ secara eksperimen dan fitting parameter untuk menentukan tekanan parsial CO₂ dengan menggunakan model E-NRTL

III.6 Evaluasi Data

Berdasarkan data hasil percobaan dan data lain dari literatur maka dilakukan perhitungan-perhitungan sebagai berikut:

1. Perhitungan konsentrasi kesetimbangan N₂O (C_A^{*})

$$V \text{ gas terabsorb} = V \text{ sampel} - \Delta V \text{ gas}$$

$$\text{Mol total gas terabsorp (n)} = \frac{PV}{RT} \quad (3.2)$$

$$C_A^* = \frac{\text{mol total gas terabsorp}}{\text{Volume liquid}} \quad (3.3)$$

2. Perhitungan konstanta Henry N₂O dalam larutan K₂CO₃

$$\frac{HA}{C_A^*} = \frac{pA}{C_A^*} \quad (3.4)$$

3. Perhitungan konstanta Henry CO₂ dalam larutan air

$$H_{CO_2, \text{water}} (kPam^3 kmol^{-1}) = (2.8249 \times 10^6) \exp\left(\frac{-2044}{T}\right) \quad (3.5)$$

4. Perhitungan konstanta Henry N₂O dalam larutan air

$$H_{N_2O, \text{water}} (kPam^3 kmol^{-1}) = (8.5470 \times 10^6) \exp\left(\frac{-2284}{T}\right) \quad (3.6)$$

5. Perhitungan konstanta Henry CO₂ dalam larutan K₂CO₃

$$\frac{HCO_{2, \text{amine}}}{HN_{2O, \text{amine}}} = \frac{HCO_{2, \text{water}}}{HN_{2O, \text{water}}} \quad (3.7)$$

6. Menghitung parameter

Parameter nonrandom

$$\alpha_{mm'} = \alpha_{m'm'}, \alpha_{m,cm} = \alpha_{cm,m}, \alpha_{ca,ca'} = \alpha_{ca'ca'}, \alpha_{ca,c'a} = \alpha_{c'a,ca}, \\ \alpha_{cm}, \alpha_{am}, \alpha_{mc,ac}, \alpha_{ma,ca}$$

Parameter interaksi biner

$$\tau_{mm'}, \tau_{m'm'}, \tau_{m,ca}, \tau_{ca,m}, \tau_{ca,ca'}, \tau_{ca',ca}, \tau_{ca,c'a}, \\ \tau_{c'a,ca}, \tau_{cm}, \tau_{am}, \tau_{mc,ac}, \tau_{ma,ca}$$

$$Y_a = \frac{X^a}{\sum_a X_c^a} \quad (3.8)$$

$$Y_c = \frac{X^c}{\sum_c X_c^c} \quad (3.9)$$

$$\tau = A + B \left(\frac{1}{T(K)} - \frac{1}{353.15 (K)} \right) \quad (3.10)$$

Dengan nilai konstanta A dan B didapatkan dari hasil fitting parameter.

$$\alpha_{mc,ac} = \alpha_{cm} \quad (3.11)$$

$$\alpha_{ma,ca} = \alpha_{am} \quad (3.12)$$

$$\alpha_{cm} = \sum_a Y_a \alpha_{m,ca} \quad (3.13)$$

$$\alpha_{cm} = \sum_c Y_c \alpha_{m,ca} \quad (3.14)$$

$$G_{am} = \sum_a Y_c G_{ca,m} \quad (3.15)$$

$$G_{cm} = \sum_a Y_a G_{ca,m} \quad (3.16)$$

$$\tau_{cm} = -\frac{\ln(G_{cm})}{\alpha_{cm}} \quad (3.17)$$

$$\tau_{am} = -\frac{\ln(G_{am})}{\alpha_{am}} \quad (3.18)$$

$$\tau_{ma,ca} = \tau_{am} - \frac{\alpha_{ca,m}}{\alpha_{ma,ca}} (\tau_{ca,m} - \tau_{m,ca}) \quad (3.19)$$

$$\tau_{mc,ac} = \tau_{cm} - \frac{\alpha_{ca,m}}{\alpha_{mc,ac}} (\tau_{ca,m} - \tau_{m,ca}) \quad (3.20)$$

$$G_{mc,ac} = \exp(\alpha_{mc,ac} \tau_{mc,ac}) = \exp(\alpha_{cm} \tau_{mc,ac}) \quad (3.21)$$

$$G_{ma,ca} = \exp(\alpha_{ma,ac} \tau_{ma,ac}) = \exp(\alpha_{am} \tau_{ma,ac}) \quad (3.22)$$

7. Menghitung nilai estimasi koefisien aktifitas (γ) masing-masing komponen

$$\begin{aligned} \ln \gamma_m^{lc} = & \frac{\sum_j x_j G_{jm} \tau_{jm}}{\sum_k x_k G_{km}} - \sum_{m'} \frac{x_m G_{mm'}}{\sum_k x_k G_{km'}} \\ & \left(\tau_{mm'} - \frac{\sum_k x_k G_{km'} \tau_{km'}}{\sum_k x_k G_{km'}} \right) \\ & + \sum_c \sum_a \frac{Y_a X_c G_{mc,ac}}{\sum_k x_k G_{kc,ac}} \left(\tau_{mc,ac} - \frac{\sum_k x_k G_{kc,ac} \tau_{kc,ac}}{\sum_k x_k G_{kc,ac}} \right) \\ & + \sum_a \sum_c \frac{Y_c X_a G_{mc,ac}}{\sum_k x_k G_{ka,ca}} \left(\tau_{ma,ca} - \frac{\sum_k x_k G_{ka,ca} \tau_{ka,ca}}{\sum_k x_k G_{ka,ca}} \right) \end{aligned} \quad (3.23)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{z_c} \ln \gamma_c^{lc} = & \sum_a \frac{\sum_j x_k G_{kc,ac} \tau_{kc,ac}}{\sum_k x_k G_{kc,ac}} + \sum_{m'} \frac{x_m G_{cm}}{\sum_k x_k G_{km}} \\ & \left(\tau_{cm'} - \frac{\sum_k x_k G_{km} \tau_{km}}{\sum_k x_k G_{km}} \right) \\ & + \sum_a \sum_c \frac{Y_c X_a G_{ca,c'a}}{\sum_k x_k G_{ka,c'ac}} \left(\tau_{ca,c'a} - \frac{\sum_k x_k G_{km,c'a} \tau_{km,c'a}}{\sum_k x_k G_{km,c'a}} \right) \end{aligned} \quad (3.24)$$

$$\begin{aligned}
\frac{1}{z_a} \ln \gamma_a^{lc} = & \sum_c Y_{aca} \frac{\sum_j x_k G_{ka,ca} \tau_{ka,ca}}{\sum_k x_k G_{ka,ca}} \\
& + \sum_m \frac{x_m G_{am}}{\sum_k x_k G_{km}} \left(\tau_{am} - \frac{\sum_k x_k G_{km} \tau_{km}}{\sum_k x_k G_{km}} \right) \\
& + \sum_c \sum_{a'} \frac{Y_{a'} X_c G_{ac,a'c}}{\sum_k x_k G_{kc,a'cc}} \left(\tau_{ac,a'c} - \frac{\sum_k x_k G_{ka,a'c} \tau_{kc,a'c}}{\sum_k x_k G_{kc,a'c}} \right)
\end{aligned}
\tag{3.25}$$

8. Membuat kurva solubilitas pada berbagai suhu, perbandingan hasil eksperimen dengan data hasil estimasi.
9. Membuat kurva solubilitas pada berbagai konsentrasi amine, perbandingan hasil eksperimen dengan data hasil estimasi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data solubilitas gas karbondioksida (CO_2) dalam larutan K_2CO_3 -DEA-Glisin dalam air dengan konsentrasi promotor DEA-Glisin 0-5% dengan suhu 30°C , 40°C , dan 50°C pada tekanan atmosferik. Data hasil eksperimen yang didapatkan kemudian digunakan dalam perhitungan solubilitas gas karbondioksida (CO_2) dalam larutan K_2CO_3 -DEA-Glisin dalam air dan dikorelasikan dengan metode E-NRTL sehingga bisa mengestimasi kondisi di luar penelitian.

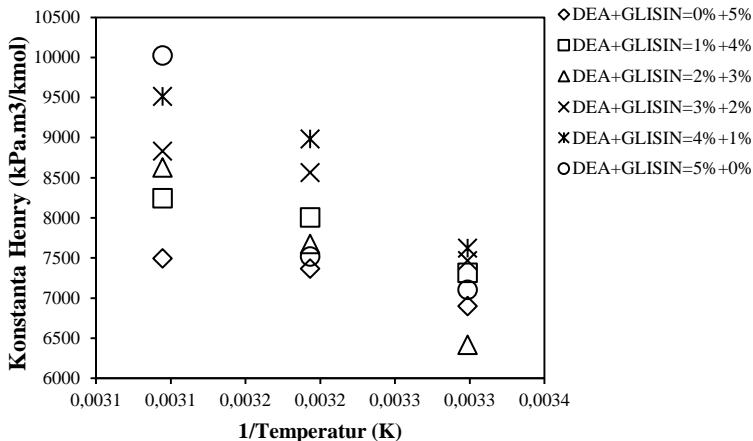
IV.1 Hasil Eksperimen dan Pembahasan

IV.1.1 Solubilitas CO_2 secara Fisik

Pada penelitian ini diperlukan analogi gas N_2O untuk memprediksi solubilitas gas karbondioksida (CO_2) di dalam pelarut alkanolamine. Hal ini dikarenakan solubilitas gas CO_2 secara fisik tidak dapat diukur secara langsung dalam pelarut alkanolamine karena gas CO_2 bereaksi dengan pelarut. Gas N_2O dapat digunakan untuk analogi solubilitas CO_2 karena memiliki ukuran, bentuk, dan konfigurasi elektron Lennard-Jones yang mirip dengan CO_2 . Kesamaan massa dan parameter interaksi molekul CO_2 dan N_2O mengindikasikan bahwa koefisien difusi dari kedua gas tersebut tidak berbeda jauh (Clarke, 1964). Penelitian dilakukan dengan menggunakan larutan berupa 30% massa K_2CO_3 , 0-5% massa DEA-Glisin, dan sisanya adalah air dengan variabel suhu 30, 40, dan 50°C pada tekanan atmosferik. Penelitian dilakukan hingga tercapai kesetimbangan uap-cair di mana ditunjukkan melalui tidak berubahnya level pada buret yang menunjukkan volume gas terabsorb.

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan, didapatkan konstanta Henry N_2O yang kemudian dapat digunakan untuk mendapatkan nilai konstanta Henry CO_2 dengan cara analogi N_2O melalui persamaan (3.7). Setelah didapatkan nilai konstanta

Henry CO₂, dapat dibuat grafik antara konstanta Henry CO₂ dan suhu yang ditunjukkan pada Gambar IV.1.



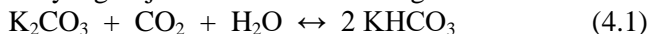
Gambar IV.1 Konstanta Henry CO₂ pada 30% K₂CO₃ dan 0-5% DEA-Glisin

Dari Gambar IV.1 dapat dilihat hubungan konstanta Henry dan suhu pada 30% K₂CO₃ dan 0-5% DEA-Glisin menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik yaitu semakin tinggi nilai 1/suhu maka semakin kecil nilai konstanta Henry. Nilai konstanta Henry yang rendah menunjukkan kelarutan gas dalam liquid semakin bagus. Pada suhu yang rendah kelarutan gas lebih besar daripada suhu yang lebih tinggi. Selain itu dapat dilihat bahwa jumlah DEA yang semakin banyak menyebabkan nilai konstanta Henry semakin tinggi. Hal ini menunjukkan semakin tinggi DEA maka semakin rendah kemampuan gas untuk terlarut. Dari grafik Gambar IV.1 menunjukkan bahwa komposisi 2-3% DEA-Glisin memiliki nilai konstanta Henry paling kecil jika dibandingkan komposisi larutan lainnya. Hal ini berarti secara fisik komposisi 2-3% DEA-Glisin mampu melarutkan gas CO₂ lebih baik.

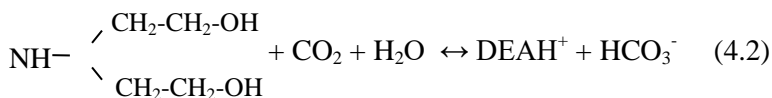
IV.1.2 Solubilitas CO₂ secara Kimia

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan promotor DEA-Glisin terhadap solubilitas gas CO₂ dalam larutan K₂CO₃ pada tekanan atmosferik. Setelah terjadi kesetimbangan, sampel larutan diambil untuk dilakukan pengukuran densitas larutan menggunakan piknometer 10 mL dan analisa larutan dengan cara titrasi untuk mendapatkan ketelitian yang lebih tinggi. Titrasi ini dilakukan dengan menggunakan dua indikator yaitu Fenolftalein (PP) dan Methyl Orange (MO). Indikator PP untuk mengetahui kadar CO₃²⁻ (karbonat) dan indikator MO untuk mengetahui kadar HCO₃⁻ (bikarbonat) dalam larutan. Selain itu digunakan pula titran berupa HCl 3M pada titrasi. Analisa kadar HCO₃⁻ dalam larutan dilakukan untuk mengetahui jumlah gas CO₂ yang bereaksi dengan K₂CO₃ karena CO₂ yang terabsorpsi ada yang bereaksi dan ada pula yang terlarut dalam larutan K₂CO₃. Sebelum dialiri gas, sampel larutan juga diukur massanya menggunakan piknometer dan dianalisa dengan titrasi untuk mengetahui kadar CO₃²⁻ dan kadar HCO₃⁻ sebelum menyerap gas CO₂.

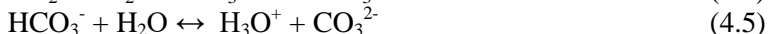
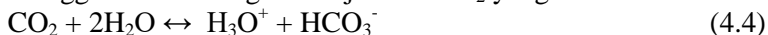
Reaksi yang terjadi dalam kesetimbangan larutan:



Di dalam larutan, aditif DEA dan Glisin akan meningkatkan jumlah terbentuknya HCO₃⁻



Sehingga akan meningkatkan jumlah CO₂ yang bereaksi.



Gas CO₂ yang menjadi umpan akan kontak dengan larutan *benfield* yaitu potasium karbonat (K₂CO₃) dengan promotor DEA-Glisin di dalam tabung absorpsi. Akan ada gas CO₂ yang bereaksi dan ada gas CO₂ yang tidak bereaksi

sehingga akan terlarut dalam larutan. CO_2 yang terlarut ini yang berkesetimbangan dengan CO_2 yang tidak terabsorp. Jumlah total CO_2 yang bereaksi dan yang terlarut adalah jumlah CO_2 terabsorp.

Perhitungan jumlah CO_2 terabsorb didapatkan dengan persamaan gas ideal dimana volume terabsorb didapatkan dari ΔV air di manometer. Sedangkan perhitungan jumlah CO_2 bereaksi dapat dihitung dengan rumus stokiometri biasa. Jumlah CO_2 terlarut dapat dihitung dengan mengurangi jumlah CO_2 terabsorp dan CO_2 bereaksi. Hasil perhitungan jumlah CO_2 terlarut dalam larutan dapat dilihat pada Tabel IV.1-IV.4:

Tabel IV.1 Hasil Perhitungan CO_2 Terlarut pada 5% CO_2

DEA (%)	Glisin (%)	CO_2 Terlarut (mol)		
		30°C	40°C	50°C
5	0	0,0000937	0,0000908	0,0000614
4	1	0,0000696	0,0000597	0,0000573
3	2	0,0000575	0,0000418	0,0000459
2	3	0,0000575	0,0000341	0,0000343
1	4	0,0000210	0,0000240	0,0000192
0	5	0,0000130	0,0000162	0,0000117

Tabel IV.2 Hasil Perhitungan CO_2 Terlarut pada 10% CO_2

DEA (%)	Glisin (%)	CO_2 Terlarut (mol)		
		30°C	40°C	50°C
5	0	0,0000986	0,0001041	0,0000775
4	1	0,0000742	0,0000691	0,0000693
3	2	0,0000658	0,0000512	0,0000579
2	3	0,0000658	0,0000473	0,0000459
1	4	0,0000334	0,0000396	0,0000233
0	5	0,0000213	0,0000240	0,0000192

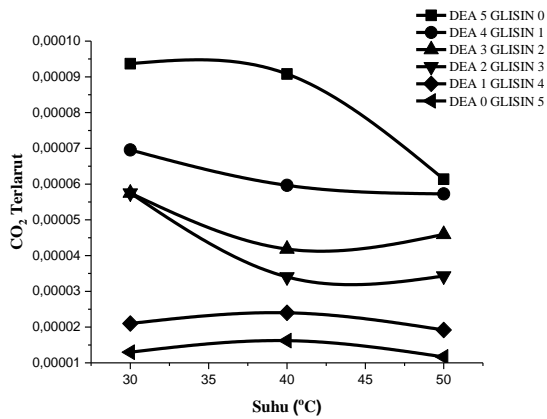
Tabel IV.3 Hasil Perhitungan CO₂ Terlarut pada 15% CO₂

DEA (%)	Glisin (%)	CO ₂ Terlarut (mol)		
		30°C	40°C	50°C
5	0	0,0001150	0,0001103	0,0000662
4	1	0,0000788	0,0000808	0,0000662
3	2	0,0000705	0,0000574	0,0000625
2	3	0,0000705	0,0000551	0,0000535
1	4	0,0000460	0,0000435	0,0000346
0	5	0,0000417	0,0000357	0,0000233

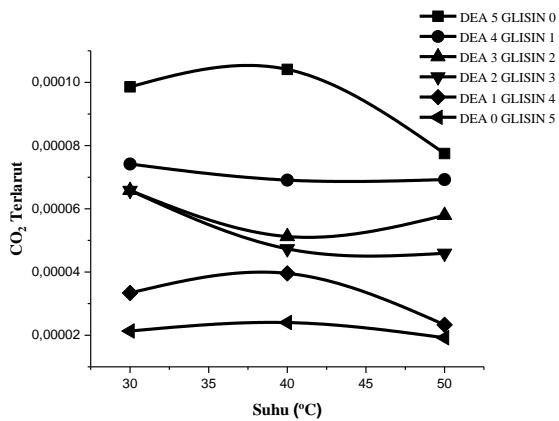
Tabel IV.4 Hasil Perhitungan CO₂ Terlarut pada 20% CO₂

DEA (%)	Glisin (%)	CO ₂ Terlarut (mol)		
		30°C	40°C	50°C
5	0	0,0001351	0,0001265	0,0000926
4	1	0,0000909	0,0000837	0,0000850
3	2	0,0000742	0,0000603	0,0000662
2	3	0,0000742	0,0000597	0,0000579
1	4	0,0000501	0,0000480	0,0000429
0	5	0,0000460	0,0000402	0,0000309

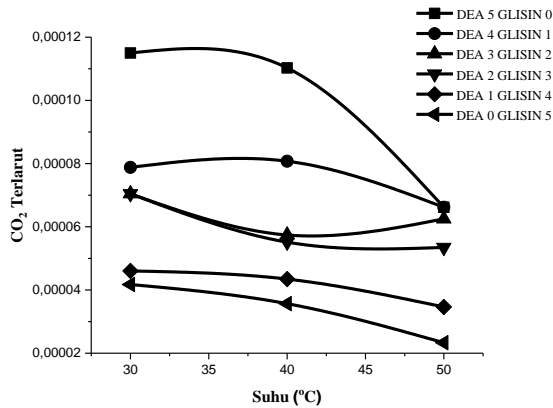
Dari keempat tabel di atas, dapat dibuat grafik hubungan antara suhu dan CO₂ terlarut sehingga memudahkan untuk melihat perbedaannya, pada Gambar IV.2-IV.5:



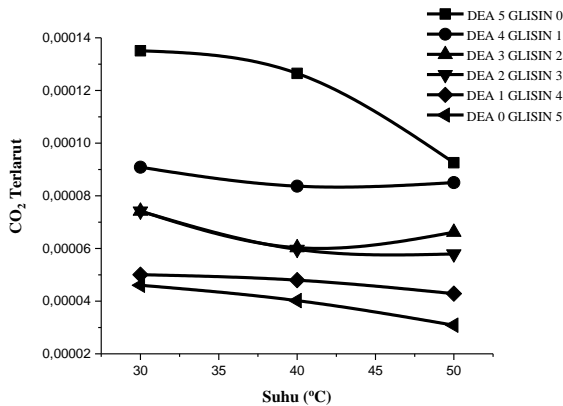
Gambar IV.2 Grafik Hubungan CO₂ Terlarut vs Suhu dengan komposisi gas CO₂ 5%



Gambar IV.3 Grafik Hubungan CO₂ Terlarut vs Suhu dengan komposisi gas CO₂ 10%



Gambar IV.4 Grafik Hubungan CO₂ Terlarut vs Suhu dengan komposisi gas CO₂ 15%



Gambar IV.5 Grafik Hubungan CO₂ Terlarut vs Suhu dengan komposisi gas CO₂ 20%

Dari grafik Gambar IV.2 sampai dengan Gambar IV.5 dapat terlihat hubungan antara mol CO₂ terlarut dengan temperatur. Terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur maka mol CO₂ yang terlarut dalam larutan mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan dengan semakin meningkatnya suhu nilai

konstanta Henry semakin meningkat yang berarti kelarutan gas semakin kecil dalam pelarut.

Sedangkan hasil analisa titrasi akan digunakan untuk menghitung jumlah CO₂ bereaksi. Hasil perhitungan jumlah CO₂ bereaksi dalam larutan dapat dilihat pada Tabel IV.5-IV.8:

Tabel IV.5 Hasil Perhitungan CO₂ Bereaksi pada 5% CO₂

DEA (%)	Glisin (%)	CO ₂ Bereaksi (mol)		
		30°C	40°C	50°C
5	0	0,00024	0,00024	0,00018
4	1	0,00024	0,00024	0,00012
3	2	0,00024	0,00018	0,00012
2	3	0,00024	0,00018	0,00006
1	4	0,00018	0,00012	0,00006
0	5	0,00018	0,00012	0,00006

Tabel IV.6 Hasil Perhitungan CO₂ Bereaksi pada 10% CO₂

DEA (%)	Glisin (%)	CO ₂ Bereaksi (mol)		
		30°C	40°C	50°C
5	0	0,00042	0,00036	0,00036
4	1	0,00036	0,00036	0,00024
3	2	0,00030	0,00024	0,00024
2	3	0,00030	0,00024	0,00012
1	4	0,00024	0,00024	0,00012
0	5	0,00024	0,00024	0,00006

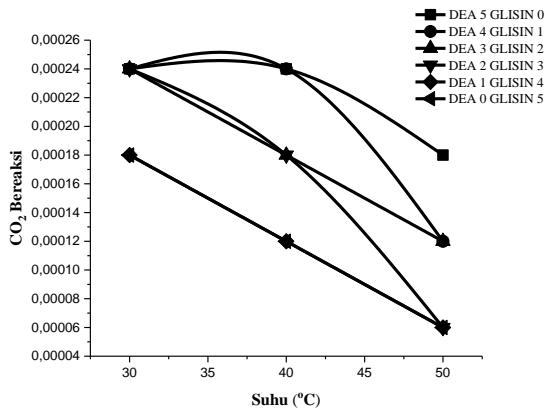
Tabel IV.7 Hasil Perhitungan CO₂ Bereaksi pada 15% CO₂

DEA (%)	Glisin (%)	CO ₂ Bereaksi (mol)		
		30°C	40°C	50°C
5	0	0,00048	0,00048	0,00036
4	1	0,00048	0,00036	0,00036
3	2	0,00042	0,00036	0,00018
2	3	0,00036	0,00024	0,00012
1	4	0,00036	0,00024	0,00012
0	5	0,00030	0,00024	0,000012

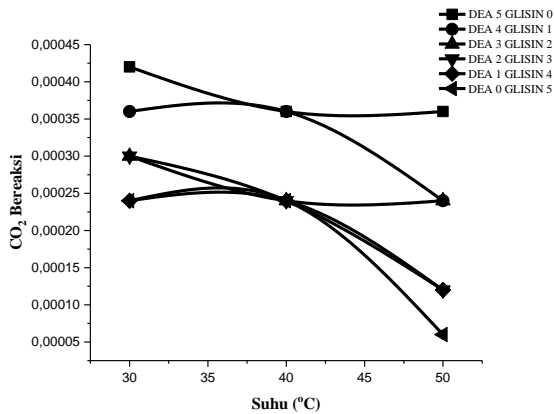
Tabel IV.8 Hasil Perhitungan CO₂ Bereaksi pada 20% CO₂

DEA (%)	Glisin (%)	CO ₂ Bereaksi (mol)		
		30°C	40°C	50°C
5	0	0,00048	0,00036	0,00036
4	1	0,00048	0,00036	0,00036
3	2	0,00036	0,00036	0,00036
2	3	0,00042	0,00024	0,00024
1	4	0,00036	0,00024	0,00024
0	5	0,00036	0,00024	0,00012

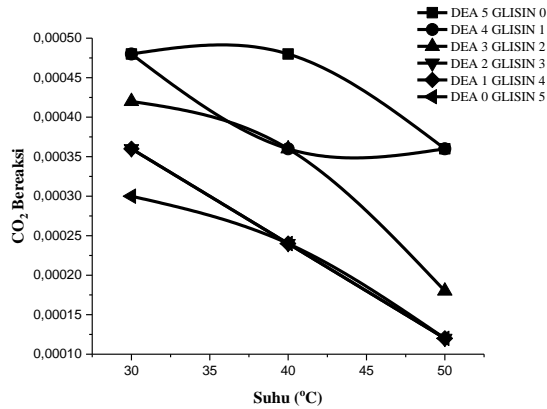
Dari keempat tabel di atas, dapat dibuat grafik hubungan antara suhu dan CO₂ bereaksi sehingga memudahkan untuk melihat perbedaannya, pada Gambar IV.6-IV.9:



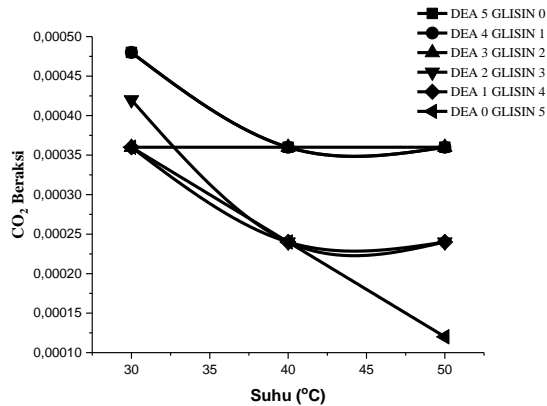
Gambar IV.6 Grafik Hubungan CO₂ Bereaksi vs Suhu dengan komposisi gas CO₂ 5%



Gambar IV.7 Grafik Hubungan CO₂ Bereaksi vs Suhu dengan komposisi gas CO₂ 10%



Gambar IV.8 Grafik Hubungan CO₂ Bereaksi vs Suhu dengan komposisi gas CO₂ 15%



Gambar IV.9 Grafik Hubungan CO₂ Bereaksi vs Suhu dengan komposisi gas CO₂ 20%

Dari grafik pada gambar IV.6 hingga IV.9 dapat dilihat bahwa hubungan antara mol CO₂ bereaksi dengan suhu berbanding terbalik di mana dengan semakin meningkatnya suhu jumlah mol yang bereaksi semakin kecil. Hal ini dikarenakan

reaksi pada proses absorpsi kimia dari larutan Benfield potassium karbonat dengan DEA dan Glisin sebagai promotor bersifat eksoterm, sehingga dengan adanya kenaikan suhu dapat menurunkan laju reaksi. Selain itu reaksi antara larutan dengan CO_2 memiliki panas reaksi yang rendah. CO_2 bereaksi paling besar terjadi pada komposisi promotor DEA 4%-Glisin 1% dan promotor DEA 5%-Glisin 0% di mana keduanya memiliki hasil yang hampir sama.

Dari harga CO_2 yang terlarut dan bereaksi di dalam larutan maka akan didapatkan nilai CO_2 loading. CO_2 loading merupakan rasio antara jumlah mol CO_2 total yang mampu diabsorb oleh larutan K_2CO_3 terhadap total mol K^+ dan mol promotor yang terkandung dalam larutan.

Selain itu, harga CO_2 yang terlarut dapat digunakan untuk menghitung tekanan parsial CO_2 dengan cara mengalikan CO_2 yang terlarut dengan harga konstanta Henry yang telah didapat dari percobaan. Nilai tekanan parsial CO_2 berbanding dengan CO_2 loading dapat dilihat pada tabel IV.11-IV.14.

IV.2 Korelasi dengan Model E-NRTL

Dalam penelitian ini dilakukan korelasi E-NRTL sebagai salah satu metode penelitian. Perhitungan korelasi tekanan kesetimbangan dengan model E-NRTL dihitung dengan menggunakan data fraksi mol komponen pada kondisi kesetimbangan dari hasil eksperimen. Model E-NRTL ini cukup baik untuk memprediksi kelakuan larutan elektrolit lemah hingga elektrolit kuat. Model ini dapat digunakan untuk menghitung koefisien aktivitas komponen-komponen larutan elektrolit. Untuk mendapatkan parameter biner yang digunakan dalam perhitungan koefisien aktivitas CO_2 dengan model E-NRTL, maka dilakukan *fitting Average Absolute Relative Deviation (AARD)* antara P_{CO_2} yang didapatkan dari eksperimen dengan P_{CO_2} hasil perhitungan korelasi. Dalam melakukan korelasi dengan model E-NRTL, *fitting* dilakukan dengan menset harga awal parameter biner

berdasarkan literatur *Cullinane* (2005) dan *Posey* (1997), kemudian menghitung koefisien aktivitas CO_2 (γ_{CO_2}) dan koefisien aktivitas H_2O ($\gamma_{\text{H}_2\text{O}}$). Kemudian data yang didapatkan dapat digunakan untuk menghitung tekanan parsial CO_2 hasil korelasi (P_{CO_2}). Parameter interaksi biner yang terkait dalam proses *fitting* adalah:

1. Parameter interaksi biner antarmolekul
2. Parameter interaksi biner antarmolekul-pasangan ion lain

Parameter biner hasil proses *fitting* ditunjukkan pada Tabel IV.9-IV.10:

Tabel IV.9 Parameter Interaksi Biner Antarmolekul

Parameter Interaksi	A	B
$\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$	17,312	-1.128,550
$\text{H}_2\text{O-CO}_2$	1,521	-354,344
$\text{H}_2\text{O-DEA}$	38,753	-1.547,904
$\text{DEA-H}_2\text{O}$	70,011	-414,157
DEA-CO_2	0,707	0,025
$\text{CO}_2\text{-DEA}$	-0,001	0,175
$\text{H}_2\text{O-GLISIN}$	110,958	1.317,967
$\text{GLISIN-H}_2\text{O}$	-88,286	23.082,052
GLISIN-CO_2	-0,028	0,012
$\text{CO}_2\text{-GLISIN}$	58,189	0,099
GLISIN-DEA	4,350	0,015
DEA-GLISIN	25,063	0,051

Tabel IV.10 Parameter Interaksi Biner Antarmolekul dan Pasangan Ion

Parameter Interaksi	A	B
H ₂ O-K ⁺ ,CO ₃ ⁻	-48,8595	31.304,3392
K ⁺ ,CO ₃ ⁻ -H ₂ O	24,6581	-252,9454
H ₂ O-K ⁺ ,HCO ₃ ⁻	-12,4790	-58.157,4521
K ⁺ ,HCO ₃ ⁻ -H ₂ O	37,7766	-751,4207
CO ₂ -K ⁺ ,CO ₃ ⁻	-18,0285	0,0208
K ⁺ ,CO ₃ ⁻ -CO ₂	5,8962	0,0913
CO ₂ -K ⁺ ,HCO ₃ ⁻	25,4520	0,0023
K ⁺ ,HCO ₃ ⁻ -CO ₂	2,7104	0,0395
DEA-K ⁺ ,CO ₃ ⁻	6,7486	-0,0015
K ⁺ ,CO ₃ ⁻ -DEA	-24,9620	0,0106
DEA-K ⁺ ,HCO ₃ ⁻	-55,4465	0,0363
K ⁺ ,HCO ₃ ⁻ -DEA	-3,1005	-0,0146
GLISIN-K ⁺ ,CO ₃ ⁻	-2,6895	0,0018
K ⁺ ,CO ₃ ⁻ -GLISIN	38,5606	-0,0224
GLISIN-K ⁺ ,HCO ₃ ⁻	21,5229	0,0052
K ⁺ ,HCO ₃ ⁻ -GLISIN	-107,4641	-0,0006

Parameter interaksi biner (molekul-molekul dan molekul-pasangan ion) yang disimbolkan dengan konstanta A dan B dibutuhkan dalam melakukan perhitungan korelasi E-NRTL. Konstanta ini menggambarkan nilai interaksi biner baik molekul-molekul maupun molekul pasangan ion yang terjadi dalam sistem larutan elektrolit pada penelitian ini. Sehingga, untuk setiap interaksi biner molekul-molekul maupun molekul pasangan ion yang sama dapat dihitung dengan konstanta A dan B yang sama yang digunakan di semua persamaan pada masing – masing

konsentrasi promotor, konsentrasi gas umpan, dan temperatur yang berbeda – beda.

IV.3 Perbandingan Hasil Eksperimen dan Hasil Korelasi

Untuk perhitungan dengan metode *fitting*, parameter hasil *fitting* berlaku untuk semua data. *Fitting* dilakukan kepada semua data secara keseluruhan. Perbandingan hasil eksperimen dan korelasi menggunakan metode E-NRTL dari koefisien aktivitas dapat dilihat pada tabel di bawah. Dari koefisien aktivitas hasil korelasi dengan metode *fitting* dapat digunakan untuk memperoleh tekanan parsial CO₂ hasil korelasi (P_{CO_2}). Perbandingan P_{CO_2} antara hasil korelasi dengan eksperimen dapat dilihat pada Tabel IV.11-IV.14:

Tabel IV.11 Hasil Perhitungan Tekanan Parsial CO₂ untuk Konsentrasi Gas CO₂ 5%

Suhu (°C)	% DE A	% GLISI N	CO ₂ Loadin g	P_{CO_2} eksperime n	P_{CO_2} Korelasi	AAR D
30	5%	0%	0,00240	33.253,89	35.504,41	4,16%
	4%	1%	0,00224	26.491,68	26.377,34	
	3%	2%	0,00198	21.451,29	21.538,67	
	2%	3%	0,00178	11.993,58	11.974,69	
	1%	4%	0,00158	7.682,16	8.216,71	
	0%	5%	0,00151	4.473,89	4.015,75	
40	5%	0%	0,00185	34.113,25	37.203,31	6,10%
	4%	1%	0,00166	26.790,84	28.329,48	
	3%	2%	0,00136	17.909,03	18.046,55	
	2%	3%	0,00115	13.058,48	14.020,90	
	1%	4%	0,00095	9.603,30	8.780,63	
	0%	5%	0,00083	5.969,41	5.664,60	
50	5%	0%	0,00149	30.745,67	29.076,19	4,47%
	4%	1%	0,00137	27.221,69	27.471,03	
	3%	2%	0,00116	20.282,31	21.504,05	
	2%	3%	0,00081	14.784,17	14.062,94	

1%	4%	0,00059	7.911,09	7.467,58
0%	5%	0,00054	4.366,45	4.194,81

Tabel IV.12 Hasil Perhitungan Tekanan Parsial CO₂ untuk Konsentrasi Gas CO₂ 10%

Suhu (°C)	% DEA	% GLISIN	CO ₂ Loading	P_{CO_2}	P_{CO_2}	AARD
				eksperimen	Korelasi	
30	5%	0%	0,00254	35.003,87	29.477,96	7,01%
	4%	1%	0,00236	28.253,79	28.694,93	
	3%	2%	0,00220	24.564,24	25.077,09	
	2%	3%	0,00199	14.669,63	15.735,96	
	1%	4%	0,00187	12.202,77	11.234,33	
	0%	5%	0,00169	7.351,90	6.809,41	
40	5%	0%	0,00195	39.108,95	40.424,49	4,26%
	4%	1%	0,00174	31.013,98	30.467,78	
	3%	2%	0,00149	21.935,74	20.821,68	
	2%	3%	0,00127	18.158,27	18.383,32	
	1%	4%	0,00108	15.832,95	14.549,23	
	0%	5%	0,00090	8.835,05	8.306,92	
50	5%	0%	0,00161	38.829,39	38.829,41	2,28%
	4%	1%	0,00156	32.926,47	34.068,98	
	3%	2%	0,00132	25.579,61	25.041,89	
	2%	3%	0,00098	19.810,65	20.507,89	
	1%	4%	0,00071	9.606,17	9.739,23	
	0%	5%	0,00063	7.191,91	6.961,46	

Tabel IV.13 Hasil Perhitungan Tekanan Parsial CO₂ untuk Konsentrasi Gas CO₂ 15%

Suhu (°C)	% DEA	% GLISIN	CO ₂ Loading	P_{CO_2}	P_{CO_2}	AARD
				eksperimen	Korelasi	
30	5%	0%	0,00261	40.819,91	38.219,27	3,95%
	4%	1%	0,00251	30.015,90	29.576,29	
	3%	2%	0,00226	26.290,40	27.549,17	
	2%	3%	0,00207	21.213,88	20.593,03	
	1%	4%	0,00198	16.834,24	16.210,72	
	0%	5%	0,00181	14.390,07	13.747,79	
40	5%	0%	0,00204	41.423,53	44.979,06	4,87%
	4%	1%	0,00184	36.255,98	34.786,28	
	3%	2%	0,00164	24.573,29	24.144,64	
	2%	3%	0,00146	21.143,30	20.899,59	
	1%	4%	0,00116	18.947,77	17.312,78	
	0%	5%	0,00095	13.133,50	12.468,87	
50	5%	0%	0,00162	33.159,40	30.814,00	5,27%
	4%	1%	0,00160	31.458,96	31.823,02	
	3%	2%	0,00148	27.592,96	32.035,47	

2%	3%	0,00121	23.063,21	22.997,53
1%	4%	0,00089	14.268,18	14.279,22
0%	5%	0,00069	8.732,89	9.208,92

Tabel IV.14 Hasil Perhitungan Tekanan Parsial CO₂ untuk Konsentrasi Gas CO₂ 20%

Suhu (⁰ C)	% DEA	% GLISIN	CO ₂ Loading	P_{CO_2} eksperimen	P_{CO_2} Korelasi	AARD
30	5%	0%	0,00278	47.955,43	47.746,37	3,26%
	4%	1%	0,00267	34.609,40	36.253,77	
	3%	2%	0,00248	27.677,19	28.785,05	
	2%	3%	0,00239	23.889,93	23.620,54	
	1%	4%	0,00231	18.304,16	17.428,77	
	0%	5%	0,00206	15.881,36	15.174,07	
40	5%	0%	0,00217	47.514,74	47.746,37	1,85%
	4%	1%	0,00191	37.565,26	37.517,49	
	3%	2%	0,00175	25.821,67	26.049,25	
	2%	3%	0,00161	22.883,87	24.524,61	
	1%	4%	0,00134	19.206,61	18.798,47	
	0%	5%	0,00115	14.804,45	14.736,85	
50	5%	0%	0,00190	46.389,37	42.913,72	5,17%
	4%	1%	0,00182	40.424,33	42.330,15	
	3%	2%	0,00164	29.211,92	30.733,51	
	2%	3%	0,00145	24.984,77	27.084,36	
	1%	4%	0,00102	17.658,34	17.803,23	
	0%	5%	0,00074	11.558,36	12.150,74	

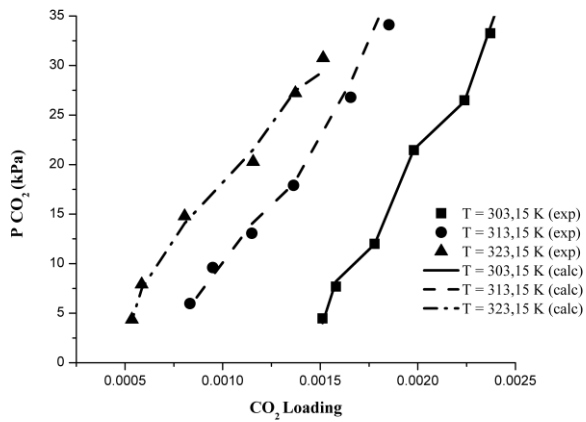
Tabel IV.11 sampai Tabel IV.14 di atas menunjukkan eror yang didapatkan antara hasil eksperimen yang telah dilakukan dan hasil dari korelasi E-NRTL. Hasil tersebut menunjukkan bahwa hasil eksperimen yang telah dilakukan tidak

berbeda jauh dengan hasil korelasi. Pada penelitian ini, model E-NRTL yang digunakan memberikan hasil yang baik pada sistem $\text{CO}_2\text{-K}_2\text{CO}_3\text{-(DEA+Glisin)-H}_2\text{O}$ dengan nilai *Average Absolute Relative Deviation* (AARD) 4,3967% untuk *fitting* pada tiap komposisi campuran promotor DEA-Glisin. Nilai *Average Absolute Relative Deviation* (AARD) didapatkan dengan merata-rata error antara tekanan parsial CO_2 hasil eksperimen dengan hasil korelasi.

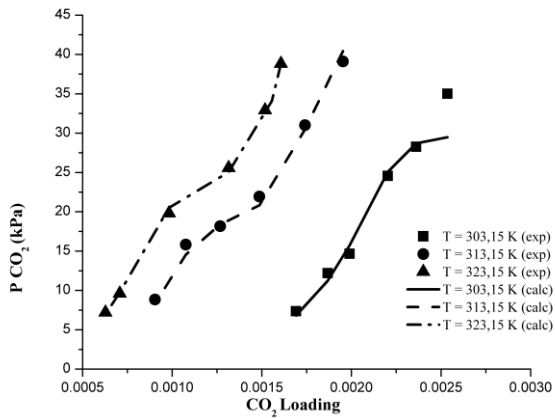
Dari tabel tersebut juga menunjukkan hubungan yang berbanding lurus antara konsentrasi promotor dengan tekanan parsial CO_2 . Konsentrasi promotor DEA yang semakin tinggi akan meningkatkan tekanan parsial CO_2 dalam larutan. Dari tabel di atas juga dapat dilihat juga bahwa hasil korelasi untuk setiap tekanan parsial gas CO_2 juga meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi gas umpan walaupun perbedaan tekanan parsialnya tidak berbeda secara signifikan. Selain itu hasil eksperimen juga menunjukkan bahwa CO_2 loading semakin meningkat pada suhu yang semakin rendah.

Tekanan parsial CO_2 paling besar terdapat pada komposisi DEA 5%-Glisin 0% 30°C , pada data eksperimen sedangkan pada korelasi tekanan parsial CO_2 paling besar terdapat pada komposisi DEA 5%-Glisin 0% pada suhu 30°C . Dari hasil tersebut membuktikan bahwa komposisi DEA 5%-Glisin 0% mengabsorpsi paling banyak CO_2 dibanding dengan komposisi lainnya.

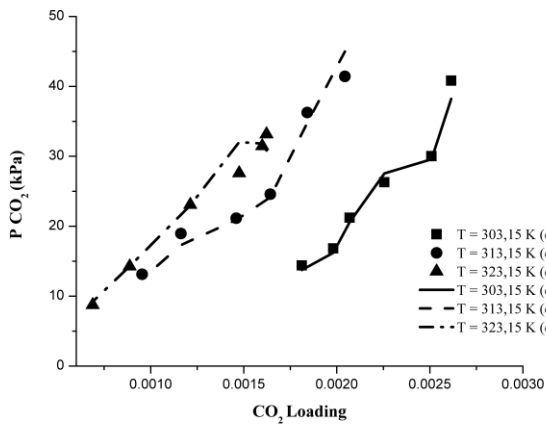
Hubungan antara tekanan parsial CO_2 (P_{CO_2}) baik eksperimen maupun korelasi dari tiap konsentrasi CO_2 dan tiap campuran larutan terhadap CO_2 loading dapat dilihat pada gambar berikut:



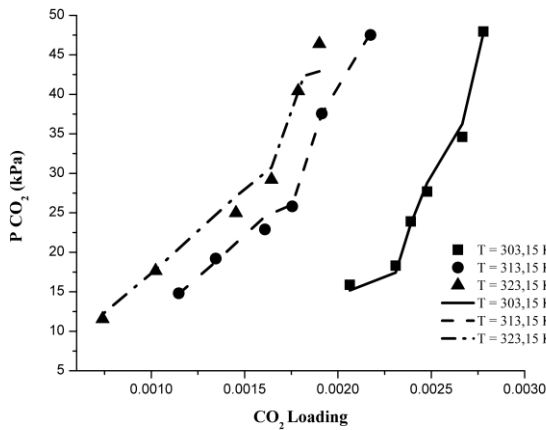
Gambar IV.10 Grafik Tekanan Parsial CO_2 untuk Konsentrasi Konsentrasi Gas CO_2 5%



Gambar IV.11 Grafik Tekanan Parsial CO_2 untuk Konsentrasi Gas CO_2 10%



Gambar IV.12 Grafik Tekanan Parsial CO_2 untuk Konsentrasi Gas CO_2 15%



Gambar IV.13 Grafik Tekanan Parsial CO_2 untuk Konsentrasi Gas CO_2 20%

Berdasarkan Gambar IV.10 hingga Gambar IV.13 dapat terlihat hasil eksperimen maupun hasil korelasi menunjukkan bahwa pada konsentrasi gas umpan yang sama, semakin besar konsentrasi gas CO₂ maka tekanan parsial CO₂ juga akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena terjadinya kenaikan konsentrasi CO₂ didalam larutan yang pada dasarnya selalu berkesetimbangan dengan konsentrasi CO₂ dalam fase gas (Kurniati dan Panca, 2013). Dari gambar tersebut terlihat pula bahwa suhu yang lebih rendah memiliki CO₂ loading yang lebih besar. Tekanan parsial CO₂ semakin meningkat dengan semakin besarnya konsentrasi DEA dalam larutan, besarnya tekanan parsial CO₂ disebabkan oleh nilai konstanta Henry CO₂ pada pelarut DEA-Glisin yang semakin besar pada saat dilakukan penambahan DEA. Semakin besar nilai konstanta Henry maka semakin kecil solubilitas CO₂ terhadap pelarutnya. Selain itu semakin kecil tekanan parsial CO₂ maka CO₂ yang terlarut semakin sedikit.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa jumlah mol CO₂ terlarut berbanding terbalik dengan suhu di mana semakin tinggi suhu mol CO₂ terlarut semakin kecil, begitu pula dengan mol CO₂ bereaksi. Tekanan parsial CO₂ berbanding lurus dengan CO₂ loading dan penambahan konsentrasi DEA. Semakin besar tekanan parsial CO₂ ketika CO₂ loading juga besar disebabkan karena konsentrasi CO₂ dalam larutan selalu berkesetimbangan dengan konsentrasi CO₂ dalam fase. Kenaikan konsentrasi gas umpan akan meningkatkan tekanan parsial CO₂ untuk konsentrasi promotor yang sama. Untuk konsentrasi gas umpan yang sama kenaikan suhu akan meningkatkan CO₂ loading. CO₂ loading merupakan perbandingan jumlah mol CO₂ terabsorb dengan total jumlah mol pelarutnya. Di mana mol terabsorb dikurangi mol CO₂ bereaksi merupakan mol CO₂ terlarut. Tekanan parsial CO₂ dipengaruhi oleh seberapa banyak mol CO₂ yang terlarut sehingga bila mol CO₂ yang terabsorp semakin besar maka CO₂ loading semakin besar begitu pula dengan mol CO₂ terlarut, hal ini yang

menyebabkan hubungan antara CO₂ loading dan tekanan parsial CO₂ yang berbanding lurus.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Dari hasil eksperimen dan pembahasan, dapat diambil kesimpulan akan percobaan ini bahwa :

1. Harga konstanta Henry CO_2 bisa didapatkan dengan analogi N_2O . Nilai konstanta Henry yang diperoleh menurun seiring dengan penurunan suhu pada range $30\text{-}50^\circ\text{C}$
2. Meningkatnya konsentrasi umpan gas CO_2 dapat menaikkan tekanan parsial gas CO_2 pada konsentrasi promotor yang sama.
3. Meningkatnya konsentrasi umpan gas CO_2 dan promotor DEA meningkatkan CO_2 loading.
4. Penyerapan CO_2 paling baik pada konsentrasi promotor DEA 5%- Glisin 0% dimana tekanan parsial paling besar.
5. Hasil korelasi dengan E-NRTL memberikan nilai *Average Absolute Relative Deviation (AARD)* sebesar 4,3967%.

V.2 Saran

Adapun untuk perbaikan pengembangan penelitian selanjutnya adalah:

1. Untuk analisa CO_2 bereaksi dilakukan analisa dengan penambahan BaCl ke dalam larutan yang telah dilakukan absorpsi hal ini agar HCO_3^- di dalam larutan dapat membentuk endapan BaCO_3 yang kemudian dilarutkan

dengan HCl dan dititrasi dengan NaOH untuk mengetahui kadar CO_2 yang bereaksi dalam larutan elektrolit.

2. Analisa CO_2 bereaksi dilakukan dengan mengukur pH saat titrasi untuk mengurangi error yang dapat terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Ghawas, H. D. P. Hagewiesche, G. Ruiz-Ibanez, dan O. C. Sandall. Physicochemical Properties Important for Carbon Dioxide Absorption in Aqueous Methyldiethanolamine. *J. Chem. Eng. Data*, 34, 385-391, **1989**.
- Altway, S. Kuswandi, dan A. Altway. Prediction of Gas-Liquid Equilibria of CO₂-K₂CO₃-MDEA-H₂O System by Electrolyte UNIQUAC Model. IPTEK, *Journal of Engineering*, Vol. 1, No. 1: 22-28, **2014**.
- Altway, S. Kuswandi, I. Zulfetra, dan F. Nuharani. CO₂ Solubility in Electrolyte Solution of Potassium Carbonate with the Addition of Promotor Amines (MDEA-DEA/PZ-DEA) at Various Temperatures. *J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 48, No. 6: 665-678, **2016**.
- Austgen, D.M. dan G.T. Rochelle, Peng, X., and Chen, C. C. Model of Vapor-Liquid Equilibria for Aqueous Acid Gas-Alkanolamine Systems. 2. Representation of H₂S and CO₂ Solubility in Aqueous MDEA and CO₂ Solubility in Aqueous Mixtures of MDEA with MEA or DEA. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 30, 543-555, **1991**.
- Benamor. A, dan M.J. Al-Marri. Studying The Promoting Effect Of Glycine On The Kinetics Of Carbon Dioxide Reaction With Methyldiethanolamine Using Stopped Flow Technique. *Proceeding of Sixteenth The IIER International Conference, Kuala Lumpur, Malaysia*. 14 Maret **2015**.

- Chen, C.C. dan Evans L. B. A Local Composition Model for the Excess Gibbs Energy of Aqueous Electrolyte Systems. *AIChE Journal*, Vol. 32, No. 3, **1986**.
- Clarke, J. K. A. Kinetics of Absorption of Carbon Dioxide In Monoethanolamine Solutions at Short Contact Times. *Ind. Eng. Chem. Fundamental*, Vol. 3, No. 3, **1964**.
- Cullinane, J, T. dan G. T. Rochelle. Carbon Dioxide Absorption with Aqueous Potassium Carbonate Promoted by Piperazine. *Chemical Engineering Science*, 59, 3619-3630, **2004**.
- Dewan Energi Nasional Republik Indonesia. Outlook Energi Indonesia 2016. *Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional*. **2016**.
- Jou, F.-Y., F. D.Otto,dan A. E.Mather. Vapor-Liquid Equilibrium of Carbon Dioxide in Aqueous Mixtures of Monoethanolamine and Methyldiethanolamine. *Ind. Eng. Chem. Re*, 33: 2002-2005. **1994**.
- Kidnay, A. J. dan W. R. Parrish. Natural Gas Processing. *CRC Press, Boca Raton*. **2006**.
- Kurniati, Y., P. S. Utami, Kuswandi, dan Winarsih. Prediksi Solubilitas CO₂ di Dalam Larutan Potassium Karbonat dan Amine (DEA, MEA) Menggunakan Model Elektrolit UNIQUAC. *Jurnal Teknik POMITS*, Vol. 2, No. 1: 1-6, **2013**.
- Kuswandi, K., Anam, dan Y.P. Laksana. Solubilitas Gas CO₂ dalam Larutan Potassium Karbonat. *Jurnal Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional*, Vol. 3, No.1, **2008**.

- Kuswandi, K., A. Altway., dan Y. Kurniati. Experimental and Estimation of Vapor-Liquid Equilibria in Aqueous Electrolyte System: $\text{CO}_2\text{-K}_2\text{CO}_3\text{-MDEA+DEA-H}_2\text{O}$. *Modern Applied Science*, Vol. 9, No. 7: 183-189, **2015**.
- Kuswandi, G. Wibawa, B. A. Wisnuaji, dan V. N. Priyo. Eksperimen dan Estimasi Parameter Keseimbangan Fasa Uap-Cair Sistem Larutan Elektrolit $\text{CO}_2\text{-K}_2\text{CO}_3\text{-(Piperazine+DEA)-H}_2\text{O}$. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Lingkungan XII ITS, Surabaya, 3 September 2015*.
- Liu, Y., L. Zhang, dan S. Watanasiri. Representing Vapor–Liquid Equilibrium for an Aqueous MEA– CO_2 System Using the Electrolyte Nonrandom-Two-Liquid Model. *Ind. Eng. Chem. Res*, 38, 2080-2090, **1999**.
- Pudjiastuti, L., Susianto, A. Altway., Maria H. I. C, dan K. Arsi. Kinetic Study of Carbon Dioxide Absorption Into Glycine Promoted Diethanolamine (DEA). *International Conference of Chemical and Material Engineering*. **2015**.
- Rahimpour, M.R and A.Z. Kashkooli. Enhanced Carbon Dioxide Removal by Promoted Hot Potassium Carbonate in a Split-Flow Absorber. *Chemical Engineering and Processing*, Vol. 43: 857-865, **2004**.
- Renon, H. and J.M. Prausnitz. Local Compositions in Thermodynamic Excess Functions for Liquid Mixtures. *AIChE Journal*, Vol. 14, No. 1: 135-144, **1968**.

Tondica, T.,C. Tanasie, T. Proll, dan A. Cata. Absorption with Chemical Reaction: Evaluation of Rate Promoters Effect on CO₂ Absorption in Hot Potassium Carbonate Solutions. *17th European Symposium on Computer Aided Chemical Engineering*. **2007**.

Wilson, G.M. Vapor-Liquid Equilibrium. XI. A New Expression for the Excess Free Energy of Mixing. *Contribution From The Department Of Chemistry, Massachusetts Institute Of Technology*, Vol. 86: 127-130, **1964**.

DAFTAR NOTASI

A_ϕ	Parameter Debye-Huckel
C	Konsentrasi (mol/L)
D_i	Konstanta Dielektrik spesies i
D_s	Konstanta Dielektrik pelarut
D_m	Konstanta Dielektrik campuran pelarut
D_w	Konstanta Dielektrik air
e	Muatan elektron
G	Energi Gibbs
G^{ex}	Energi Gibbs eksek
G^{id}	Energi Gibbs ideal
ΔG^0	Perubahan energi Gibbs
H_{CO_2}	Konstanta Henry CO ₂ di larutan
$H^o_{CO_2}$	Konstanta Henry CO ₂ di air
H_{N_2O}	Konstanta Henry N ₂ O di larutan
$H^o_{N_2O}$	Konstanta Henry N ₂ O di air
ΔH^0	Perubahan entalpy reaksi standard
I_x	Daya ionik
k	Konstanta Boltzmann
K	Konstanta kesetimbangan
N_o	Bilangan Avogadro
P^s_w	Tekanan uap air (Pa)
P	Tekanan total (Pa)
p	Tekanan parsial (Pa)
R	Konstanta gas ideal (J.K ⁻¹ .mol ⁻¹)
T	Temperatur (K)
$\bar{v}^{\infty}_{m,w}$	Parsial molar volume <i>solute</i> m (m ³)
v^l_w	Parsial molar volume untuk air murni (m ³)
V	Volume (m ³)
x	Fraksi komponen di liquid
y	Fraksi komponen di vapor
z	Muatan ion

Huruf Latin

α	Parameter nonrandomness
f_i	fugasitas komponen i
f_i^*	Fugasitas komponen i dalam campuran
ϕ	Koefisien Fugasitas
ϕ_w^s	Koefisien Fugasitas air jenuh pada temperatur sistem
P_s	Densitas pelarut (Kg/m ³)
ξ	Fraksi volume i sekitar pusat molekul
ρ	Parameter pendekatan model PDH yang terdekat
γ	Koefisien aktivitas
T	Parameter interaksi biner

APENDIKS

A.1 Perhitungan Eksperimen

Variabel yang digunakan pada eksperimen ini adalah sebagai berikut ini:

Sistem K_2CO_3 -(DEA+Glisin)- H_2O :

Suhu (T) = 30°C, 40°C, dan 50°C

Kadar K_2CO_3 = 30% massa

Kadar DEA+Glisin = 0%-5% massa

Kadar H_2O = 65% massa

Komposisi gas = 5%, 10%, 15%, 20% CO_2 -

sisanya N_2

Berikut ini adalah contoh perhitungan dan penabelan hasil perhitungan:

- a. Variabel yang digunakan untuk contoh perhitungan yaitu larutan 30% K_2CO_3 dengan penambahan 4% DEA dan 1% Glisin serta 65% H_2O , dengan menggunakan gas N_2O .

Contoh perhitungan sebagai berikut:

Pembuatan Larutan:

Perhitungan massa tiap komponen:

Massa larutan ($m_{\text{larutan awal}}$) = 100 g larutan

Dengan komposisi larutan:

% massa K_2CO_3 = 30%

% massa DEA = 4%

% massa Glisin = 1%

% massa H_2O = 65%

Massa tiap-tiap larutan dapat dihitung dengan rumus:

Massa = % massa x $m_{\text{larutan awal}}$

Contoh perhitungan K_2CO_3 sebagai berikut:

$m_{K_2CO_3}$ = % massa K_2CO_3 x $m_{\text{larutan awal}}$

= 30% x 100 g

= 30 g

Perhitungan massa DEA, Glisin, dan H₂O dapat dilihat pada Tabel A.1 berikut:

Tabel A.1 Hasil Perhitungan Massa Tiap Komponen Untuk 4% Massa DEA dan 1% Massa Glisin

Senyawa	Komposisi (% Massa)	Massa (gram)	n (mol)	Fraksi mol
K ₂ CO ₃	30	30	0,217	0,056
DEA	4	4	0,038	0,010
Glisin	1	1	0,013	0,003
H ₂ O	65	65	3,611	0,931
Total	100	100	3,879	1

Menghitung jumlah N₂O terabsorb

$$P = 101325 \text{ Pa}$$

$$T = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} = 303,15 \text{ K}$$

$$\text{Volume sampel} : 40 \text{ mL} = 4 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\Delta V \text{ gas} = 9,6 \text{ mL} = 9,6 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\text{Volume gas yang terabsorb} = 0,0000096 \text{ m}^3$$

Perhitungan konsentrasi kesetimbangan N₂O (C_A^{*})

$$\begin{aligned} \text{mol gas terabsorp (n)} &= \frac{P V}{R T} = \frac{101.325 \times 0,0000096}{8,314 \times 303,15} \\ &= 0,0003859 \text{ mol} \end{aligned}$$

Tabel A.2 Hasil Perhitungan Mol N₂O Terabsorb tiap %DEA dan %Glisin

%DEA	%Glisin	Suhu (°C)	N ₂ O Terabsorb (mol)
0	5	30	0,0004261
		40	0,0003892
		50	0,0003734
1	4	30	0,0004020
		40	0,0003580
		50	0,0003394
2	3	30	0,0004583
		40	0,0003736
		50	0,0003243
3	2	30	0,0003940
		40	0,0003347
		50	0,0003168
4	1	30	0,0003859
		40	0,0003191
		50	0,0002942
5	0	30	0,0004141
		40	0,0003814
		50	0,0002791

Menghitung Konstanta Henry N₂O dalam Larutan

- Mol total yang terabsorp (n) = $3,859 \cdot 10^{-7}$ kmol

$$C_A^* = \frac{\text{mol total gas terabsorb}}{\text{Volume Liquid}} = \frac{3,859 \times 10^{-7}}{0,00004} = 0,00965 \text{ kmol/m}^3$$

-Perhitungan konstanta Henry N₂O dalam larutan K₂CO₃+DEA+GLISIN

Menghitung Tekanan uap N₂O

$$\begin{aligned} P_{H_2O}^v / \text{bar} &= 1.33567 \times 10^6 \exp(-5243/T(K)) \\ &= 1.33567 \times 10^6 \exp(-5243/303,15) \\ &= 4,17068 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Menghitung Tekanan parsial N₂O

$$\begin{aligned} P_{N_2O} &= P_{total} - x_{H_2O} \cdot P_{H_2O}^v - x_{K_2CO_3} \cdot P_{K_2CO_3} \\ &\quad - x_{solvent} \cdot P_{amine} \\ &= 101,325 - (0,931)(4,17068) - 0 - 0 \\ &= 100,9612 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Menghitung konstanta Henry N₂O dalam larutan

$$H_{N_2O} = \frac{P_{N_2O}}{C_A^*} = \frac{100,9612}{0,00965} = 10.463,9141 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 / \text{kmol}$$

Menghitung Konstanta Henry CO₂ menggunakan analogi

N₂O

- Perhitungan konstanta Henry CO₂ dalam air

$$\begin{aligned} H_{CO_2, \text{water}} (\text{kPa} \cdot \text{m}^3 \text{kmol}^{-1}) &= (2.8249 \times 10^6) \exp\left(\frac{-2044}{T}\right) \\ H_{CO_2, \text{water}} (\text{kPa} \cdot \text{m}^3 \text{kmol}^{-1}) &= (2.8249 \times 10^6) \exp\left(\frac{-2044}{303,15}\right) \\ H_{CO_2, \text{water}} (\text{kPa} \cdot \text{m}^3 \text{kmol}^{-1}) &= 3326,616 \end{aligned}$$

- Perhitungan konstanta Henry N₂O dalam air

$$\begin{aligned} H_{N_2O, \text{water}} (\text{kPa} \cdot \text{m}^3 \text{kmol}^{-1}) &= (8.5470 \times 10^6) \exp\left(\frac{-2284}{T}\right) \\ H_{N_2O, \text{water}} (\text{kPa} \cdot \text{m}^3 \text{kmol}^{-1}) &= (8.5470 \times 10^6) \exp\left(\frac{-2284}{303,15}\right) \\ H_{N_2O, \text{water}} (\text{kPa} \cdot \text{m}^3 \text{kmol}^{-1}) &= 4569,769 \end{aligned}$$

- Perhitungan konstanta Henry CO₂ dalam larutan K₂CO₃-(DEA+Glisin)-H₂O dengan menggunakan rumus analogi N₂O pada T= 303,15 K

$$\frac{H_{CO_2,amine}}{H_{CO_2,water}} = \frac{H_{N_2O,amine}}{H_{N_2O,water}}$$

$$\frac{10.463,9141}{H_{CO_2,amine}} = \frac{3.326,616}{4.569,771}$$

$$H_{CO_2,amine} = 7.617,3266 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kmol}$$

Tabel A.3 Hasil Perhitungan Konstanta Henry N₂O dan CO₂ tiap %DEA dan %Glisin

%DEA	%Glisin	Suhu (°C)	H N ₂ O (kPa.m ³ /kmol)	H CO ₂ (kPa.m ³ /kmol)
0	5	30	9.476,7667	6.898,7213
		40	10.373,8092	7.363,2084
		50	10.808,3290	7.491,8202
1	4	30	10.045,3689	7.312,6418
		40	11.275,8723	8.003,4822
		50	11.889,1488	8.240,9933
2	3	30	8.811,7238	6.414,5957
		40	10.806,0372	7.669,9988
		50	12.442,1188	8.624,2858
3	2	30	10.250,3687	7.461,8738
		40	12.062,5453	8.561,8535
		50	12.738,3458	8.829,6162
4	1	30	10.463,9141	7.617,3266
		40	12.650,9538	8.979,4990
		50	13.718,2034	9.508,8070
5	0	30	9.752,7706	7.099,6416
		40	10.585,4850	7.513,4534
		50	14.459,7120	10.022,7855

b. Perhitungan menggunakan gas CO₂

Variabel yang digunakan untuk contoh perhitungan yaitu larutan 30% K₂CO₃ dengan penambahan 4% DEA dan 1% Glisin serta 65% H₂O, dengan komposisi gas inlet 5% CO₂ - 95% N₂ pada suhu 30 °C.

Contoh perhitungan sebagai berikut:

Perhitungan volume larutan awal:

Untuk mendapatkan volume larutan yang digunakan, massa larutan ditimbang menggunakan piknometer sehingga dapat dihitung densitas larutannya.

Massa piknometer kosong	= 12,5542 g
Massa piknometer + aquades	= 22,3357 g
Massa aquades	= (22,3357 – 12,5542) g = 9,7815 g
Dengan massa jenis aquades	= 1 g/mL
Volume piknometer	= 10 mL
Massa piknometer+larutan awal	= 24,8635 g
Massa larutan	= (24,8635 – 12,5542) g = 12,3093 g
Densitas larutan awal	= (12,3093 g) / (10) mL = 1,2309 g/mL
Sehingga,	
Volume larutan awal	= (100 g)/(1,2309 g/mL) = 81,2394 mL

Analisa komposisi karbonat dan bikarbonat mula-mula dilakukan dengan mengambil sampel sebanyak 5 ml larutan.

Analisa Awal Larutan:

Menganalisa adanya karbonat (CO₃²⁻) dan bikarbonat (HCO₃⁻) mula-mula

Untuk menganalisa adanya karbonat (CO₃²⁻) dan bikarbonat (HCO₃⁻) dalam larutan awal, larutan awal dititrasi dengan menggunakan titran HCl menggunakan mikroburet.

Titrasi 1

Volume sampel larutan = 5 ml

$$\text{Volume HCl (V}_{\text{HCl}}) = 6,14 \text{ ml}$$

$$\text{Molaritas HCL} = 3 \text{ N}$$

Menggunakan indikator PP

Dari hasil titrasi tersebut dapat diketahui banyaknya HCl yang dibutuhkan adalah 6,14 mL

Kemudian dihitung mol karbonat (CO_3^{2-}) mula-mula dalam 5 ml sampel larutan dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Mol CO}_3^{2-} \text{ mula-mula} &= N_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}} \\ &= 3 \text{ N} \times 6,14 \text{ ml} \\ &= 18,42 \text{ mmol} \end{aligned}$$

Sehingga dapat dihitung mol karbonat (CO_3^{2-}) mula-mula dalam 20 mL larutan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{mol CO}_3^{2-} \text{ mula - mula} &= \frac{18,42 \text{ mmol} \times 20 \text{ ml}}{5 \text{ ml}} \\ &= 73,68 \text{ mmol} = 0,0737 \text{ mol} \end{aligned}$$

Titration 2

$$\text{Volume sampel larutan} = 5 \text{ ml}$$

$$\text{Volume HCl (V}_{\text{HCl}}) = 3,18 \text{ ml}$$

$$\text{Molaritas HCL} = 3 \text{ N}$$

Menggunakan indikator MO

Dari hasil titrasi tersebut dapat diketahui banyaknya HCl yang dibutuhkan adalah 3,18 mL

Kemudian dihitung mol bikarbonat (HCO_3^-) mula-mula dalam 5 ml sampel larutan dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Mol HCO}_3^- \text{ mula-mula} &= N_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}} \\ &= 3 \text{ N} \times 3,18 \text{ mL} \\ &= 9,54 \text{ mmol} \end{aligned}$$

Sehingga dapat dihitung mol bikarbonat (HCO_3^-) dalam 20 ml larutan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{mol HCO}_3^- \text{ mula - mula} &= \frac{9,54 \text{ mmol} \times 20 \text{ ml}}{5 \text{ ml}} \\ &= 38,16 \text{ mmol} = 0,0382 \text{ mol} \end{aligned}$$

Analisa Akhir Larutan:

Menganalisa adanya karbonat (CO_3^{2-}) dan Bikarbonat (HCO_3^-) pada larutan setelah melakukan absorpsi gas CO_2

Menganalisa jumlah karbonat (CO_3^{2-}) Akhir

Untuk menganalisa jumlah bikarbonat (HCO_3^-) akhir, dilakukan titrasi dengan menggunakan titran HCl.

Titrasi 1:

Volume sampel larutan = 5 mL

Normalitas HCl (M_{HCl}) = 3 N

Indikator PP

Dibutuhkan larutan HCl sebesar:

Volume HCl (V_{HCl}) = 3,62 mL

Dari hasil titrasi tersebut dapat dihitung mol karbonat (CO_3^{2-}) akhir dalam 5 ml sampel larutan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Mol } \text{CO}_3^{2-} \text{ akhir} &= N_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}} \\ &= 3 \text{ N} \times 3,62 \text{ mL} \\ &= 10,86 \text{ mmol}\end{aligned}$$

Sehingga dapat dihitung mol karbonat (CO_3^{2-}) akhir dalam 20 ml larutan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{mol } \text{CO}_3^{2-} \text{ akhir} &= \frac{10,86 \text{ mmol} \times 20 \text{ ml}}{5 \text{ ml}} \\ &= 43,44 \text{ mmol} \\ &= 0,0434 \text{ mol}\end{aligned}$$

Titrasi 2:

Menganalisa jumlah bikarbonat (HCO_3^-) akhir

Volume sampel larutan = 5 mL

Normalitas HCl (M_{HCl}) = 3 N

Indikator MO

Dibutuhkan larutan HCl sebesar:

Volume HCl (V_{HCl}) = 3,22 mL

Dari hasil titrasi tersebut dapat dihitung mol bikarbonat (HCO_3^-) akhir dalam 5 ml sampel larutan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Mol } \text{HCO}_3^- \text{ akhir} &= N_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}} \\ &= 3 \text{ N} \times 3,22 \text{ ml}\end{aligned}$$

$$= 9,66 \text{ mmol}$$

Sehingga dapat dihitung mol bikarbonat (HCO_3^-) dalam 20 ml larutan sebagai berikut :

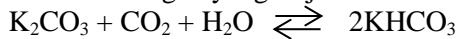
$$\begin{aligned} \text{mol } \text{HCO}_3^- \text{ akhir} &= \frac{9,66 \text{ mmol} \times 20 \text{ ml}}{5 \text{ ml}} \\ &= 38,64 \text{ mmol} = 0,03864 \text{ mol} \end{aligned}$$

Maka banyaknya bikarbonat dari hasil bereaksi dengan CO_2 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Mol bikarbonat tambahan} &= \text{mol akhir} - \text{mol awal} \\ &= 38,64 - 38,16 \text{ mmol} \\ &= 0,48 \text{ mmol} \\ &= 0,00048 \text{ mol} \end{aligned}$$

- c. Menghitung Mol CO_2 yang bereaksi

Reaksi kesetimbangan yang terjadi:



Berdasarkan reaksi kesetimbangan tersebut, dapat dihitung jumlah mol CO_2 yang bereaksi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Mol } \text{CO}_2 \text{ bereaksi} &= \frac{1}{2} \times \text{mol } \text{HCO}_3^- \text{ tambahan} \\ &= \frac{1}{2} \times 0,00048 \\ &= 0,00024 \text{ mol} \end{aligned}$$

- d. Menghitung Mol CO_2 yang terabsorb

Mol CO_2 terabsorb didapatkan dari perhitungan gas menggunakan perubahan volume yang teramati dari buret.

$$P = 101325 \text{ Pa}$$

$$R = 8,314$$

$$T = 303,15 \text{ K}$$

$$\Delta V = 7,7 \text{ ml} = 7,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$n = \frac{P V}{R T} = \frac{101.325 \times 7,7 \cdot 10^{-6}}{8,314 \times 303,15} = 0,00031 \text{ mol}$$

- e. Menghitung mol CO₂ terlarut

Mol CO₂ terlarut = Mol CO₂ terabsorpsi - Mol CO₂ bereaksi

$$= 0,000310 \text{ mol} - 0,00024 \text{ mol}$$

$$= 0,00007 \text{ mol}$$

Menghitung Densitas Larutan:

Untuk menghitung densitas larutan akhir, dilakukan penimbangan massa larutan dengan menggunakan piknometer. Penimbangan tersebut dilakukan sebanyak tiga kali.

Data yang diperoleh sebagai berikut:

Massa pikno dan larutan

Massa pikno dan larutan akhir = 24,8692 gr

Massa larutan

Massa larutan dapat dihitung dengan cara berikut:

Massa larutan = Massa pikno dan larutan - Massa pikno kosong

$$= 24,8692 \text{ g} - 12,5542 \text{ g}$$

$$= 12,3150 \text{ g}$$

Densitas larutan

Densitas larutan dapat dihitung dengan cara berikut:

$$\text{Densitas larutan} = \frac{\text{Massa larutan}}{\text{Volume pikno}}$$

$$= \frac{12,3150}{10} = 1,2315 \text{ g/mL}$$

Menghitung massa tiap-tiap komponen di larutan akhir:

Massa tiap-tiap komponen di larutan akhir dapat dihitung dengan persamaan berikut:

Untuk kalium karbonat (K₂CO₃)

$$\text{Mol K}_2\text{CO}_3 = \text{Mol CO}_3^{2-}$$

$$= 0,0434 \text{ mol}$$

$$\text{BM K}_2\text{CO}_3 = 138 \text{ g/mol}$$

maka:

$$\text{Massa K}_2\text{CO}_3 = \text{Mol K}_2\text{CO}_3 \times \text{BM K}_2\text{CO}_3$$

$$= 0,0434 \text{ mol} \times 138 \text{ g/mol}$$

$$= 5,99 \text{ gram}$$

Untuk kalium bikarbonat (KHCO_3)

$$\begin{aligned}\text{Mol KHCO}_3 &= \text{Mol HCO}_3^- \\ &= 0,03864 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\text{BM KHCO}_3 = 100 \text{ g/mol}$$

maka:

$$\begin{aligned}\text{Massa KHCO}_3 &= \text{Mol KHCO}_3 \times \text{BM KHCO}_3 \\ &= 0,03864 \text{ mol} \times 100 \text{ g/mol} \\ &= 3,86 \text{ gram}\end{aligned}$$

Untuk Diethanolamine (DEA)

$$\text{Massa DEA} = 4 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned}\text{mol DEA} &= \text{massa DEA} / \text{BM DEA} \\ &= (3 \text{ g}) / (105,14 \text{ g/mol}) \\ &= 0,038 \text{ mol}\end{aligned}$$

Untuk Glisin

$$\text{Massa Glisin} = 2 \text{ g}$$

$$\begin{aligned}\text{mol Glisin} &= \text{massa Glisin} / \text{BM Glisin} \\ &= (2 \text{ g}) / (75 \text{ g/mol}) \\ &= 0,013 \text{ mol}\end{aligned}$$

Untuk gas karbon dioksida (CO_2)

$$\begin{aligned}\text{Mol CO}_2 &= \text{Mol CO}_2 \text{ terlarut} \\ &= 6,956 \cdot 10^{-5} \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\text{BM CO}_2 = 44 \text{ g/mol}$$

maka:

$$\begin{aligned}\text{Massa CO}_2 &= \text{Mol CO}_2 \times \text{BM CO}_2 \\ &= 6,956 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \times 44 \text{ g/mol} \\ &= 3,060 \cdot 10^{-3} \text{ gram}\end{aligned}$$

Untuk Air (H_2O)

$$\begin{aligned}\text{Massa H}_2\text{O} &= \text{Massa larutan akhir} - (\text{Massa K}_2\text{CO}_3 + \text{Massa KHCO}_3 + \text{Massa DEA} + \text{Massa Glisin} + \text{Massa CO}_2) \\ &= (20 \times 1,2315) - (5,99 + 3,86 + 4 + 1 + 3,060 \cdot 10^{-3}) \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 10,77 \text{ gram} \\
 \text{Mol H}_2\text{O} &= (10,77 \text{ g}) / (18 \text{ g/mol}) \\
 &= 0,6 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

Menghitung mol tiap-tiap komponen di larutan akhir:

Mol tiap-tiap komponen di larutan akhir dapat dihitung dengan persamaan berikut:

Untuk ion karbonat (CO_3^{2-})

Berdasarkan titrasi 1 pada analisa larutan akhir, diperoleh:

$$\text{Mol CO}_3^{2-} = 0,0434 \text{ mol}$$

Untuk ion bikarbonat (HCO_3^-)

Berdasarkan titrasi 1 pada analisa larutan akhir, diperoleh:

$$\text{Mol HCO}_3^- = 0,0386 \text{ mol}$$

Untuk ion kalium (K^+)

$$\begin{aligned}
 \text{Mol K}^+ &= (2 \times \text{Mol CO}_3^{2-}) \\
 &= (2 \times 0,0434 \text{ mol}) \\
 &= 0,0869 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

Untuk Diethanolamine (DEA)

$$\text{Mol DEA} = 0,0380 \text{ mol}$$

Untuk Glisin

$$\text{Mol Glisin} = 0,0133 \text{ mol}$$

Untuk gas karbon dioksida (CO_2)

Berdasarkan hasil perhitungan mol CO_2 terlarut, diperoleh:

$$\begin{aligned}
 \text{Mol CO}_2 &= \text{Mol CO}_2 \text{ terlarut} \\
 &= 6,956 \cdot 10^{-5} \text{ mol}
 \end{aligned}$$

Untuk Air (H_2O)

Berdasarkan hasil perhitungan massa H_2O dalam larutan akhir, diperoleh:

$$\text{Mol H}_2\text{O} = 0,5984 \text{ mol}$$

Untuk Larutan

$$\begin{aligned}
 \text{Mol Larutan akhir} &= (\text{Mol CO}_3^{2-} + \text{Mol HCO}_3^- + \text{Mol K}^+ + \\
 &\quad \text{Mol DEA} + \text{Mol DEA} + \text{Mol CO}_2 + \\
 &\quad \text{Mol H}_2\text{O}) \\
 &= 0,0434 + 0,0386 + 0,0869 + 0,0380 + \\
 &\quad 0,0133 + 6,956 \cdot 10^{-5} + 0,5984 \\
 &= 0,8188 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

Mol dan komposisi tiap-tiap komponen dapat dilihat pada Tabel A.4.

Tabel A.4 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi di Larutan dengan Konsentrasi 4% DEA – 1% Glisin untuk CO₂ 5% N₂ 95% pada suhu 30°C

Komponen	Mol (mol)	Fraksi mol
CO ₃ ²⁻	0,0434	0,0531
HCO ₃ ⁻	0,0386	0,0472
K ⁺	0,0869	0,1061
DEA	0,0380	0,0465
Glisin	0,0133	0,0163
CO ₂	6,956E-05	0,0001
H ₂ O	0,5984	0,7308
Total	0,8188	1

Menghitung CO₂ Loading:

CO₂loading dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{CO}_2\text{Loading} &= \frac{\text{mol CO}_2 \text{ terabsorb}}{\text{mol K}^+ + \text{mol DEA} + \text{mol Glisin}} \\
 &= \frac{0,003096}{(0,0869 + 0,0380 + 0,0133)} = 0,0022
 \end{aligned}$$

Fraksi mol H₂O di gas :

Air di fasa gas dalam keadaan jenuh (*saturated*) sehingga,

$$\begin{aligned}
 P_{H_2O} &= P_{H_2O}^{sat} \\
 &= \exp(16.2620 - (3799.89 / ((T - 273.15) + 226.35)))
 \end{aligned}$$

Pada T = 303,15 K

maka,

$$P_{H_2O}^{sat} = 4.216,25 \text{ Pa}$$

Menghitung Tekanan Parsial secara Eksperimen pada larutan :

$$P_{CO_2} = \frac{H_{CO_2} \cdot n_{CO_2}}{V}$$

$$\begin{aligned}
&= 7.617,3266 \frac{kPa.m^3}{kmol} \cdot 6,956.10^{-8} kmol. \frac{1}{2.10^{-5} m^3} \\
&= 26,49kPa \\
&= 26.491,6794Pa
\end{aligned}$$

Berikut penabelan hasil perhitungan komposisi masing-masing komponen di liquid :

Tabel A.5 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di Liquid Untuk 0% DEA dan 5% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 5% N₂ 95%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0305	0,0333	0,0485	0,0467	0,0336	0,0304
HCO ₃ ⁻	0,0820	0,0895	0,0372	0,0358	0,0383	0,0346
K ⁺	0,0610	0,0665	0,0970	0,0934	0,0672	0,0608
DEA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
GLISIN	0,0667	0,0728	0,0667	0,0642	0,0667	0,0603
CO ₂	1,297E-05	1,416E-05	1,621,E-05	1,562E-05	1,166,E-05	1,054E-05
H ₂ O	0,6761	0,7380	0,7887	0,7598	0,9000	0,8139
Total	0,9162	1,0000	1,0380	1,0000	1,1057	1,0000

Tabel A.6 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di Liquid Untuk 1% DEA dan 4% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 5% N₂ 95%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0322	0,0319	0,0444	0,0428	0,0362	0,0351
HCO ₃ ⁻	0,0479	0,0475	0,0290	0,0280	0,0388	0,0375
K ⁺	0,0643	0,0638	0,0888	0,0856	0,0725	0,0701
DEA	0,0095	0,0094	0,0095	0,0092	0,0095	0,0092
GLISIN	0,0533	0,0529	0,0533	0,0514	0,0533	0,0516
CO ₂	2,101E-05	0,000021	2,400,E-05	0,000023	1,920,E-05	0,000019
H ₂ O	0,8003	0,7943	0,8129	0,7831	0,8236	0,7966
Total	1,0075	1,0000	1,0380	1,0000	1,0339	1,0000

Tabel A.7 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 2% DEA dan 3% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 5% N₂ 95%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0485	0,0557	0,0636	0,0759	0,0290	0,0289
HCO ₃ ⁻	0,0482	0,0554	0,0404	0,0482	0,0390	0,0388
K ⁺	0,0970	0,1114	0,1272	0,1517	0,0581	0,0578
DEA	0,0190	0,0219	0,0190	0,0227	0,0190	0,0189
GLISIN	0,0400	0,0460	0,0400	0,0477	0,0400	0,0398
CO ₂	3,739E-05	4,2978E-05	3,405.E-05	0,0000	3,428.E-05	0,0000
H ₂ O	0,6174	0,7095	0,5479	0,6537	0,8204	0,8159
Total	0,8701	1,0000	0,8382	1,0000	1,0056	1,0000

Tabel A.8 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 3% DEA dan 2% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 5% N₂ 95%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0475	0,0594	0,0538	0,0644	0,0442	0,0503
HCO ₃ ⁻	0,0516	0,0645	0,0378	0,0453	0,0386	0,0440
K ⁺	0,0950	0,1187	0,1075	0,1288	0,0883	0,1005
DEA	0,0285	0,0356	0,0285	0,0342	0,0285	0,0325
GLISIN	0,0267	0,0333	0,0267	0,0319	0,0267	0,0304
CO ₂	5,75E-05	7,182E-05	4,183E-05	5,01E-05	4,594E-05	5,229E-05
H ₂ O	0,5511	0,6884	0,5806	0,6954	0,6522	0,7423
Total	0,8005	1,0000	0,8349	1,0000	0,8786	1,0000

Tabel A.9 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 4% DEA dan 1% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 5% N₂ 95%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0434	0,0531	0,0648	0,0887	0,0389	0,0449
HCO ₃ ⁻	0,0386	0,0472	0,0343	0,0470	0,0338	0,0391
K ⁺	0,0869	0,1061	0,1296	0,1773	0,0778	0,0898
DEA	0,0380	0,0465	0,0380	0,0521	0,0380	0,0440
GLISIN	0,0133	0,0163	0,0133	0,0182	0,0133	0,0154
CO ₂	6,956E-05	0,0001	5,967.E-05	0,0001	5,726.E-05	0,0001
H ₂ O	0,5984	0,7308	0,4507	0,6167	0,6636	0,7667
Total	0,8188	1,0000	0,7308	1,0000	0,8655	1,0000

Tabel A.10 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 5% DEA dan 0% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 5% N₂ 95%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0466	0,0614	0,0655	0,0996	0,0571	0,0801
HCO ₃ ⁻	0,0346	0,0455	0,0382	0,0580	0,0344	0,0483
K ⁺	0,0931	0,1227	0,1310	0,1992	0,1142	0,1602
DEA	0,0476	0,0627	0,0476	0,0723	0,0476	0,0667
GLISIN	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CO ₂	9,368E-05	0,0001	9,081,E-05	0,0001	6,137,E-05	0,0001
H ₂ O	0,5369	0,7076	0,3755	0,5708	0,4596	0,6446
Total	0,7588	1,0000	0,6579	1,0000	0,7130	1,0000

Tabel A.11 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 0% DEA dan 5% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 10% N₂ 90%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0439	0,0431	0,0463	0,0488	0,0298	0,0286
HCO ₃ ⁻	0,0458	0,0449	0,0593	0,0625	0,0558	0,0536
K ⁺	0,0878	0,0861	0,0926	0,0977	0,0595	0,0572
DEA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
GLISIN	0,0667	0,0654	0,0667	0,0703	0,0667	0,0640
CO ₂	2,131E-05	2,089E-05	2,400,E-05	2,531E-05	1,920,E-05	1,844E-05
H ₂ O	0,7758	0,7605	0,6833	0,7206	0,8297	0,7967
Total	1,0201	1,0000	0,9483	1,0000	1,0415	1,0000

Tabel A.12 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 1% DEA dan 4% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 10% N₂ 90%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0418	0,0427	0,0427	0,0475	0,0698	0,0903
HCO ₃ ⁻	0,0434	0,0444	0,0598	0,0664	0,0607	0,0785
K ⁺	0,0835	0,0855	0,0854	0,0949	0,1397	0,1805
DEA	0,0095	0,0097	0,0095	0,0106	0,0095	0,0123
GLISIN	0,0533	0,0546	0,0533	0,0592	0,0533	0,0689
CO ₂	3,337E-05	0,000034	3,957,E-05	0,000044	2,331,E-05	0,000030
H ₂ O	0,7458	0,7630	0,6495	0,7214	0,4406	0,5695
Total	0,9774	1,0000	0,9003	1,0000	0,7738	1,0000

Tabel A.13 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 2% DEA dan 3% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 10% N₂ 90%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0574	0,0778	0,0365	0,0408	0,0550	0,0703
HCO ₃ ⁻	0,0676	0,0916	0,0550	0,0615	0,0614	0,0786
K ⁺	0,1147	0,1555	0,0730	0,0816	0,1099	0,1407
DEA	0,0190	0,0258	0,0190	0,0213	0,0190	0,0243
GLISIN	0,0400	0,0542	0,0400	0,0448	0,0400	0,0512
CO ₂	4,574E-05	0,0001	4,735,E-05	0,0001	4,594,E-05	0,0001
H ₂ O	0,4389	0,5951	0,6702	0,7499	0,4959	0,6347
Total	0,7376	1,0000	0,8937	1,0000	0,7813	1,0000

Tabel A.14 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 3% DEA dan 2% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 10% N₂ 90%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0554	0,0729	0,0300	0,0353	0,0857	0,1499
HCO ₃ ⁻	0,0512	0,0674	0,0578	0,0681	0,0617	0,1079
K ⁺	0,1109	0,1458	0,0600	0,0706	0,1714	0,2998
DEA	0,0285	0,0375	0,0285	0,0336	0,0285	0,0499
GLISIN	0,0267	0,0351	0,0267	0,0314	0,0267	0,0467
CO ₂	6,584E-05	8,659E-05	5,124E-05	6,033E-05	5,794E-05	1,01E-04
H ₂ O	0,4875	0,6412	0,6463	0,7609	0,1976	0,3457
Total	0,7603	1,0000	0,8493	1,0000	0,5715	1,0000

Tabel A.15 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 4% DEA dan 1% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 10% N₂ 90%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0662	0,1031	0,0458	0,0627	0,0737	0,1214
HCO ₃ ⁻	0,0526	0,0818	0,0544	0,0743	0,0540	0,0890
K ⁺	0,1325	0,2061	0,0917	0,1253	0,1474	0,2429
DEA	0,0380	0,0592	0,0380	0,0520	0,0380	0,0627
GLISIN	0,0133	0,0207	0,0133	0,0182	0,0133	0,0220
CO ₂	7,418E-05	0,0001	6,908,E-05	0,0001	6,925,E-05	0,0001
H ₂ O	0,3400	0,5290	0,4881	0,6673	0,2803	0,4619
Total	0,6427	1,0000	0,7314	1,0000	0,6067	1,0000

Tabel A.16 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 5% DEA dan 0% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 10% N₂ 90%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0785	0,1507	0,0490	0,0737	0,1123	0,2925
HCO ₃ ⁻	0,0539	0,1034	0,0522	0,0785	0,0497	0,1294
K ⁺	0,1570	0,3014	0,0979	0,1473	0,2246	0,5850
DEA	0,0476	0,0913	0,0476	0,0716	0,0476	0,1239
GLISIN	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CO ₂	9,861E-05	0,0002	1,041,E-04	0,0002	7,748,E-05	0,0002
H ₂ O	0,1839	0,3530	0,4179	0,6287	-0,0503	-0,1310
Total	0,5208	1,0000	0,6646	1,0000	0,3840	1,0000

Tabel A.17 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 0% DEA dan 5% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 15% N₂ 95%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0610	0,0638	0,0410	0,0392	0,0708	0,0790
HCO ₃ ⁻	0,0425	0,0445	0,0430	0,0411	0,0458	0,0511
K ⁺	0,1219	0,1276	0,0821	0,0784	0,1416	0,1580
DEA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
GLISIN	0,0667	0,0698	0,0667	0,0637	0,0667	0,0744
CO ₂	4,172E-05	4,367E-05	3,567,E-05	3,409E-05	2,331,E-05	2,601E-05
H ₂ O	0,6631	0,6942	0,8136	0,7775	0,5715	0,6375
Total	0,9552	1,0000	1,0464	1,0000	0,8965	1,0000

Tabel A.18 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 1% DEA dan 4% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 15% N₂ 85%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0710	0,0841	0,0334	0,0324	0,0557	0,0598
HCO ₃ ⁻	0,0432	0,0512	0,0415	0,0403	0,0408	0,0438
K ⁺	0,1421	0,1683	0,0667	0,0647	0,1114	0,1196
DEA	0,0095	0,0133	0,0095	0,0092	0,0095	0,0102
GLISIN	0,0533	0,0632	0,0533	0,0517	0,0533	0,0573
CO ₂	4,604E-05	0,000055	4,346,E-05	0,000042	3,463,E-05	0,000037
H ₂ O	0,5252	0,6220	0,8263	0,8016	0,6603	0,7092
Total	0,8444	1,0000	1,0308	1,0000	0,9310	1,0000

Tabel A.19 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 2% DEA dan 3% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 15% N₂ 85%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0734	0,1008	0,0305	0,0312	0,0420	0,0451
HCO ₃ ⁻	0,0538	0,0738	0,0434	0,0445	0,0425	0,0456
K ⁺	0,1469	0,2017	0,0610	0,0625	0,0840	0,0903
DEA	0,0190	0,0261	0,0190	0,0195	0,0190	0,0204
GLISIN	0,0400	0,0549	0,0400	0,0410	0,0400	0,0430
CO ₂	6,614E-05	0,0001	5,513,E-05	0,0001	5,348,E-05	0,0001
H ₂ O	0,3952	0,5426	0,7818	0,8012	0,7030	0,7555
Total	0,7284	1,0000	0,9757	1,0000	0,9306	1,0000

Tabel A.20 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 3% DEA dan 2% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 15% N₂ 85%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0811	0,1180	0,0446	0,0513	0,0710	0,0933
HCO ₃ ⁻	0,0414	0,0602	0,0380	0,0437	0,0356	0,0468
K ⁺	0,1622	0,2359	0,0893	0,1026	0,1421	0,1867
DEA	0,0285	0,0415	0,0285	0,0328	0,0285	0,0375
GLISIN	0,0267	0,0388	0,0267	0,0306	0,0267	0,0350
CO ₂	7,047E-05	1,025E-04	5,740E-05	6,594E-05	6,891E-05	9,054E-05
H ₂ O	0,3476	0,5055	0,6432	0,7390	0,4571	0,6006
Total	0,6877	1,0000	0,8705	1,0000	0,7611	1,0000

Tabel A.21 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 4% DEA dan 1% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 15% N₂ 85%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0857	0,1446	0,0451	0,0535	0,1075	0,2082
HCO ₃ ⁻	0,0446	0,0754	0,0313	0,0372	0,0379	0,0734
K ⁺	0,1714	0,2893	0,0902	0,1070	0,2150	0,4165
DEA	0,0380	0,0642	0,0380	0,0451	0,0380	0,0737
GLISIN	0,0133	0,0225	0,0133	0,0158	0,0133	0,0258
CO ₂	7,881E-05	0,0001	8,075,E-05	0,0001	6,617,E-05	0,0001
H ₂ O	0,2393	0,4039	0,6249	0,7412	0,1044	0,2022

Total	0,5924	1,0000	0,8430	1,0000	0,5163	1,0000
-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Tabel A.22 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 5% DEA dan 0% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 15% N₂ 85%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0900	0,1655	0,0619	0,0936	0,1075	0,2300
HCO ₃ ⁻	0,0370	0,0680	0,0396	0,0598	0,0365	0,0780
K ⁺	0,1800	0,3311	0,1238	0,1871	0,2150	0,4599
DEA	0,0476	0,0875	0,0476	0,0719	0,0476	0,1017
GLISIN	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CO ₂	1,150E-04	0,0002	1,103,E-04	0,0002	6,617,E-05	0,0001
H ₂ O	0,1890	0,3477	0,3888	0,5874	0,0609	0,1302
Total	0,5437	1,0000	0,6618	1,0000	0,4676	1,0000

Tabel A.23 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 0% DEA dan 5% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 20% N₂ 80%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0650	0,0705	0,0804	0,0917	0,0686	0,0739
HCO ₃ ⁻	0,0458	0,0497	0,0396	0,0452	0,0403	0,0434
K ⁺	0,1301	0,1411	0,1608	0,1834	0,1373	0,1477
DEA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
GLISIN	0,0667	0,0723	0,0667	0,0760	0,0667	0,0717
CO ₂	4,604E-05	4,994E-05	4,021,E-05	4,587E-05	3,086,E-05	3,320E-05
H ₂ O	0,6143	0,6663	0,5292	0,6036	0,6165	0,6633
Total	0,9219	1,0000	0,8767	1,0000	0,9294	1,0000

Tabel A.24 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 1% DEA dan 4% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 20% N₂ 80%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0574	0,0608	0,0636	0,0706	0,1068	0,1587
HCO ₃ ⁻	0,0355	0,0377	0,0386	0,0429	0,0456	0,0678
K ⁺	0,1147	0,1217	0,1272	0,1412	0,2136	0,3175
DEA	0,0095	0,0101	0,0095	0,0106	0,0095	0,0141
GLISIN	0,0533	0,0566	0,0533	0,0592	0,0533	0,0793
CO ₂	5,006E-05	0,000053	4,800,E-05	0,000053	4,285,E-05	0,000064
H ₂ O	0,6723	0,7131	0,6087	0,6756	0,2439	0,3625
Total	0,9428	1,0000	0,9011	1,0000	0,6728	1,0000

Tabel A.25 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 2% DEA dan 3% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 20% N₂ 80%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0739	0,0951	0,0636	0,0788	0,0730	0,0927
HCO ₃ ⁻	0,0400	0,0514	0,0458	0,0568	0,0415	0,0528
K ⁺	0,1478	0,1902	0,1272	0,1577	0,1459	0,1855
DEA	0,0190	0,0245	0,0190	0,0236	0,0190	0,0242
GLISIN	0,0400	0,0514	0,0400	0,0496	0,0400	0,0508
CO ₂	7,449E-05	0,0001	5,967,E-05	0,0001	5,794,E-05	0,0001
H ₂ O	0,4566	0,5874	0,5109	0,6334	0,4672	0,5939
Total	0,7775	1,0000	0,8066	1,0000	0,7867	1,0000

Tabel A.26 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 3% DEA dan 2% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 20% N₂ 80%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0600	0,0730	0,0922	0,1446	0,1020	0,1776
HCO ₃ ⁻	0,0348	0,0423	0,0413	0,0648	0,0449	0,0781
K ⁺	0,1200	0,1459	0,1843	0,2893	0,2040	0,3551
DEA	0,0285	0,0347	0,0285	0,0448	0,0285	0,0497
GLISIN	0,0267	0,0324	0,0267	0,0418	0,0267	0,0464
CO ₂	7,418E-05	9,022E-05	6,032E-05	9,466E-05	6,617E-05	1,15E-04
H ₂ O	0,5522	0,6716	0,2642	0,4146	0,1683	0,2930
Total	0,8223	1,0000	0,6372	1,0000	0,5744	1,0000

Tabel A.27 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 4% DEA dan 1% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 20% N₂ 80%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0814	0,1303	0,0902	0,1566	0,0967	0,1739
HCO ₃ ⁻	0,0418	0,0669	0,0430	0,0745	0,0420	0,0755
K ⁺	0,1627	0,2606	0,1805	0,3132	0,1934	0,3479
DEA	0,0380	0,0609	0,0380	0,0660	0,0380	0,0684
GLISIN	0,0133	0,0214	0,0133	0,0231	0,0133	0,0240
CO ₂	9,087E-05	0,0001	8,367,E-05	0,0001	8,503,E-05	0,0002
H ₂ O	0,2871	0,4598	0,2112	0,3664	0,1724	0,3101

Total	0,6244	1,0000	0,5763	1,0000	0,5560	1,0000
-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Tabel A.28 Hasil Perhitungan Mol dan Komposisi (Fraksi Mol) di *Liquid* Untuk 5% DEA dan 0% Glisin dengan Komposisi Gas CO₂ 20% N₂ 80%

Komponen	30° C		40° C		50° C	
	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol	Mol	Fraksi Mol
CO ₃ ²⁻	0,0869	0,1539	0,0881	0,1639	0,0953	0,1889
HCO ₃ ⁻	0,0358	0,0633	0,0413	0,0768	0,0415	0,0823
K ⁺	0,1738	0,3077	0,1762	0,3278	0,1906	0,3778
DEA	0,0476	0,0842	0,0476	0,0885	0,0476	0,0943
GLISIN	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CO ₂	1,351E-04	0,0002	1,265.E-04	0,0002	9,257.E-05	0,0002
H ₂ O	0,2206	0,3906	0,1842	0,3427	0,1294	0,2566
Total	0,5647	1,0000	0,5374	1,0000	0,5045	1,0000

A.2 Perhitungan dengan Persamaan Korelasi E-NRTL

Tahap korelasi ini dilakukan untuk menghitung koefisien aktivitas H₂O dan CO₂ dengan menggunakan persamaan model E-NRTL. Persamaan model E-NRTL yang digunakan adalah untuk *molekular species* karena H₂O dan CO₂ berbentuk *molekular species*

Berikut contoh perhitungan dan penabelan hasil perhitungan:

- Sebagai contoh perhitungan, diambil variabel larutan 30% massa K₂CO₃, dengan 4% massa DEA dan 1% massa Glisin untuk komposisi gas CO₂ 5% dan N₂ 95% pada suhu 30°C. Contoh perhitungannya sebagai berikut:

Dari eksperimen diperoleh data komposisi (fraksi mol) tiap-tiap komponen di fase liquid yang dapat dilihat pada Tabel A.10

Menghitung C_i, dimana:

C_i = z_i (jumlah muatan) untuk *ionic species*

Tabel A.29 Hasil Perhitungan C_i Untuk 1% GLISIN 4% DEA

No.	Spesies	C_i
1.	CO_3^{2-}	-2
2.	HCO_3^-	-1
3.	K^+	1
4.	DEA	1
5.	Glisin	1
6.	CO_2	1
7.	H_2O	1

Menghitung X_i , :

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 X_{\text{CO}_2} &= C_{\text{CO}_2} \cdot x_{\text{CO}_2} \\
 &= 1 \times 8,4948 \cdot 10^{-5} \\
 &= 8,4948 \cdot 10^{-5}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{\text{H}_2\text{O}} &= C_{\text{H}_2\text{O}} \cdot x_{\text{H}_2\text{O}} \\
 &= 1 \times 0,7308 \\
 &= 0,7308
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{\text{DEA}} &= C_{\text{DEA}} \cdot x_{\text{DEA}} \\
 &= 1 \times 0,0465 \\
 &= 0,0465
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{\text{Glisin}} &= C_{\text{GLISIN}} \cdot x_{\text{GLISIN}} \\
 &= 1 \times 0,0163 \\
 &= 0,0163
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{\text{K}^+} &= C_{\text{K}^+} \cdot x_{\text{K}^+} \\
 &= 1 \times 0,1061 \\
 &= 0,1061
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{\text{CO}_3^{2-}} &= C_{\text{CO}_3^{2-}} \cdot x_{\text{CO}_3^{2-}} \\
 &= -2 \times 0,0531 \\
 &= -0,1061
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{HCO_3^-} &= C_{HCO_3^-} x_{HCO_3^-} \\
 &= -1 \times 0,0472 \\
 &= -0,0472
 \end{aligned}$$

Menghitung *Binary Interaction Parameter* antara Molekul-Pasangan Ion dan Pasangan Ion-Molekul

Menghitung jumlah fraksi komposisi muatan anion, Y_a dan jumlah fraksi komposisi muatan kation, Y_c , sebagai berikut :

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 Y_{CO_3^{2-}} &= \frac{X_{CO_3^{2-}}}{X_{CO_3^{2-}} + X_{HCO_3^-}} \\
 &= \frac{-0,1061}{-0,1061 + -0,0472} \\
 &= 0,6922 \\
 Y_{HCO_3^-} &= 1 - 0,5692 \\
 &= 0,3078 \\
 Y_{K^+} &= \frac{X_{K^+}}{X_{K^+}} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

Diketahui *nonrandomness parameter* dari Liu (1999):

Tabel A.30 Data Nonrandomness Parameter

Interaksi	α	Harga α
Molekul-Molekul	$\alpha_{m,m'}$	0,2
H ₂ O-Pasangan ion	$\alpha_{H_2O,ca}$	0,2
Pasangan ion-H ₂ O	α_{ca,H_2O}	0,2
DEA-Pasangan ion	$\alpha_{DEA,ca}$	0,1
Glisin-Pasangan ion	$\alpha_{Glisin,ca}$	0,1
CO ₂ - Pasangan ion	$\alpha_{CO_2,ca}$	0,1

Dari hasil fitting diperoleh konstanta *Binary Interaction Parameter* antar molekul-pasangan ion dan pasangan ion-molekul seperti pada Tabel A.31 untuk sistem DEA-Glisin

Tabel A.31 Data Konstanta *Binary Interaction Parameter* antar Molekul-Pasangan ion dan Pasangan Ion-Molekul untuk Sistem DEA-Glisin

interaksi	A	B
$\text{H}_2\text{O}-\text{K}^+, \text{CO}_3^{2-}$	-48,8595	31.304,3392
$\text{K}^+, \text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$	24,6581	-252,9454
$\text{H}_2\text{O}-\text{K}^+, \text{HCO}_3^-$	-12,4790	-58.157,4521
$\text{K}^+, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$	37,7766	-751,4207
$\text{CO}_2-\text{K}^+, \text{CO}_3^{2-}$	-18,0285	0,0208
$\text{K}^+, \text{CO}_3^{2-}-\text{CO}_2$	5,8962	0,0913
$\text{CO}_2-\text{K}^+, \text{HCO}_3^-$	25,4520	0,0023
$\text{K}^+, \text{HCO}_3^- - \text{CO}_2$	2,7104	0,0395
$\text{DEA}-\text{K}^+, \text{CO}_3^{2-}$	6,7486	-0,0015
$\text{K}^+, \text{CO}_3^{2-}-\text{DEA}$	-24,9620	0,0106
$\text{DEA}-\text{K}^+, \text{HCO}_3^-$	-55,4465	0,0363
$\text{K}^+, \text{HCO}_3^- - \text{DEA}$	-3,1005	-0,0146
$\text{DEA}-\text{K}^+, \text{CO}_3^{2-}$	-2,6895	0,0018
$\text{K}^+, \text{CO}_3^{2-}-\text{DEA}$	38,5606	-0,0224
$\text{DEA}-\text{K}^+, \text{HCO}_3^-$	21,5229	0,0052
$\text{K}^+, \text{HCO}_3^- - \text{DEA}$	-107,4641	-0,0006

Menghitung *Binary Interaction Parameter* antara molekul-pasangan ion dan pasangan ion-molekul untuk molekul CO_2 :

maka,

molekular

$= \text{CO}_2$

anion

$= \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^-$

cation = K^+

Dari eksperimen didapatkan suhu sistem pada saat terjadi kesetimbangan:

T sistem = $30^\circ\text{C} = 303,15\text{ K}$

Rumus yang digunakan untuk menghitung *Binary Interaction Parameter* antara molekul-pasangan ion dan pasangan ion-molekul adalah :

Menghitung $\tau_{ca,m}$

Untuk anion (a) CO_3^{-2}

Konstanta *Binary Interaction Parameter* yang digunakan adalah konstanta interaksi pasangan ion-molekul yaitu $K^+, \text{CO}_3^{-2} - \text{CO}_2$ dengan data sebagai berikut:

A = 5,8962; B = 0,0913

sehingga:

$$\begin{aligned}\tau_{ca,m} &= A + B \left[\frac{1}{T(K)} - \frac{1}{353,15(K)} \right] \\ &= 5,8962 + 0,0913 \left[\frac{1}{303,15(K)} - \frac{1}{353,15(K)} \right] \\ &= 5,8962\end{aligned}$$

Untuk anion (a) HCO_3^-

Konstanta *Binary Interaction Parameter* yang digunakan adalah konstanta interaksi pasangan ion-molekul yaitu $K^+, \text{HCO}_3^- - \text{CO}_2$ dengan data sebagai berikut:

A = 2,7104; B = 0,0395

Sehingga:

$$\tau_{ca,m} = A + B \left[\frac{1}{T(K)} - \frac{1}{353,15(K)} \right]$$

$$= 2,7104 + 0,0395 \left[\frac{1}{303,15(K)} - \frac{1}{353,15(K)} \right]$$

$$= 2,710$$

Menghitung $\tau_{m,ca}$

Untuk anion (a) CO_3^{-2}

Konstanta *Binary Interaction Parameter* yang digunakan adalah konstanta interaksi molekul-pasangan ion yaitu CO_2 -pasangan ion lain dengan data sebagai berikut:

$$A = -18,0285$$

$$B = 0,0208$$

sehingga:

$$\tau_{m,ca} = A + B \left[\frac{1}{T(K)} - \frac{1}{353,15(K)} \right]$$

$$= -18,0285 + 0,0208 \left[\frac{1}{303,15(K)} - \frac{1}{353,15(K)} \right]$$

$$= -18,0285$$

Untuk anion (a) HCO_3^-

Konstanta *Binary Interaction Parameter* yang digunakan adalah konstanta interaksi molekul-pasangan ion yaitu CO_2 -pasangan ion lain dengan data sebagai berikut:

$$A = 25,4520$$

$$B = 0,0023$$

sehingga:

$$\tau_{m,ca} = A + B \left[\frac{1}{T(K)} - \frac{1}{353,15(K)} \right]$$

$$= 25,4520 + 0,0023 \left[\frac{1}{303,15(K)} - \frac{1}{353,15(K)} \right]$$

$$= 25,4520$$

Menghitung $\alpha_{m,ca}$ Untuk anion (a) CO_3^{-2}

$$\begin{aligned}\alpha_{m,ca} &= \alpha_{\text{CO}_2,ca} \\ &= 0,1\end{aligned}$$

Untuk anion (a) HCO_3^-

$$\begin{aligned}\alpha_{m,ca} &= \alpha_{\text{CO}_2,ca} \\ &= 0,1\end{aligned}$$

Menghitung $\alpha_{c,m}$ Untuk anion (a) CO_3^{-2}

$$\begin{aligned}\alpha_{c,m} &= \sum_a Y_a \alpha_{m,ca} \\ &= [Y_{\text{CO}_3^{2-}} \times \alpha_{m,ca} (a = \text{CO}_3^{-2})] + [Y_{\text{HCO}_3^-} \times \alpha_{m,ca} (a = \text{HCO}_3^-)] \\ &= (0,692 \times 0,1) + (0,308 \times 0,1) \\ &= 0,1\end{aligned}$$

Untuk anion (a) HCO_3^-

$$\begin{aligned}\alpha_{c,m} &= \sum_a Y_a \alpha_{m,ca} \\ &= [Y_{\text{HCO}_3^-} \times \alpha_{m,ca} (a = \text{HCO}_3^-)] + [Y_{\text{CO}_3^{2-}} \times \alpha_{m,ca} (a = \text{CO}_3^{-2})] \\ &= (0,308 \times 0,1) + (0,692 \times 0,1) \\ &= 0,1\end{aligned}$$

Menghitung $\alpha_{a,m}$ Untuk anion (a) CO_3^{-2}

$$\begin{aligned}\alpha_{a,m} &= \sum_c Y_c \alpha_{m,ca} \\ &= Y_{\text{K}^+} \times \alpha_{m,ca} \\ &= 1 \times 0,1 \\ &= 0,1\end{aligned}$$

Untuk anion (a) HCO_3^-

$$\begin{aligned}\alpha_{a,m} &= \sum_c Y_c \alpha_{m,ca} \\ &= Y_{K^+} \times \alpha_{m,ca} \\ &= 1 \times 0,1 \\ &= 0,1\end{aligned}$$

Menghitung $G_{ca,m}$

Untuk anion (a) CO_3^{2-}

$$\begin{aligned}G_{ca,m} &= \exp(-\alpha_{ca,m} \tau_{ca,m}) \\ &= \exp(-0,1 \times 5,8962) \\ &= 0,5545\end{aligned}$$

Untuk anion (a) HCO_3^-

$$\begin{aligned}G_{ca,m} &= \exp(-\alpha_{ca,m} \tau_{ca,m}) \\ &= \exp(-0,1 \times 2,710) \\ &= 0,7626\end{aligned}$$

Menghitung $G_{c,m}$

Untuk anion (a) CO_3^{2-}

$$\begin{aligned}G_{c,m} &= \sum_a Y_a G_{ca,m} \\ &= [Y_{\text{CO}_3^{2-}} \times G_{ca,m} \text{ (a = CO}_3^{2-})] + [Y_{\text{HCO}_3^-} \times G_{ca,m} \text{ (a = HCO}_3^-)] \\ &= (0,692 \times 0,5545) + (0,308 \times 0,7626) \\ &= 0,6186\end{aligned}$$

Untuk anion (a) HCO_3^-

$$\begin{aligned}G_{c,m} &= \sum_a Y_a G_{ca,m} \\ &= [Y_{\text{HCO}_3^-} \times G_{ca,m} \text{ (a = HCO}_3^-)] + [Y_{\text{CO}_3^{2-}} \times G_{ca,m} \text{ (a = CO}_3^{2-})] \\ &= (0,308 \times 0,7626) + (0,692 \times 0,5545) \\ &= 0,6186\end{aligned}$$

Menghitung $G_{a,m}$ Untuk anion (a) CO_3^{2-}

$$\begin{aligned}
 G_{a,m} &= \sum_c Y_c G_{ca,m} \\
 &= Y_{K^+} \times G_{ca,m} \\
 &= 1 \times 0,5545 \\
 &= 0,5545
 \end{aligned}$$

Untuk anion (a) HCO_3^-

$$\begin{aligned}
 G_{a,m} &= \sum_c Y_c G_{ca,m} \\
 &= Y_{K^+} \times G_{ca,m} \\
 &= 1 \times 0,7626 \\
 &= 0,7626
 \end{aligned}$$

Menghitung $\tau_{c,m}$

$$G = \exp(-\alpha\tau)$$

$$\ln G = -\alpha\tau$$

$$\tau = -\frac{\ln G}{\alpha}$$

Untuk anion (a) CO_3^{2-}

$$\begin{aligned}
 \tau_{c,m} &= -\frac{\ln G_{c,m}}{\alpha_{c,m}} \\
 &= -\frac{\ln(0,6186)}{0,1} \\
 &= 4,8033
 \end{aligned}$$

Untuk anion (a) HCO_3^-

$$\begin{aligned}
 \tau_{c,m} &= -\frac{\ln G_{c,m}}{\alpha_{c,m}} \\
 &= -\frac{\ln(0,6186)}{0,01} \\
 &= 4,8033
 \end{aligned}$$

Menghitung $\tau_{a,m}$ Untuk anion (a) $\text{CO}_3^{=}$

$$\begin{aligned}\tau_{a,m} &= -\frac{\ln G_{a,m}}{\alpha_{a,m}} \\ &= -\frac{\ln(0,5545)}{0,1} = 5,896\end{aligned}$$

Untuk anion (a) HCO_3^-

$$\begin{aligned}\tau_{a,m} &= -\frac{\ln G_{a,m}}{\alpha_{a,m}} \\ &= -\frac{\ln(0,7626)}{0,1} \\ &= 2,710\end{aligned}$$

Menghitung $\tau_{mc,ac}$

Dari Cullinane (2005):

$$\alpha_{mc,ac} = \alpha_{cm}$$

Untuk anion (a) $\text{CO}_3^{=}$

$$\begin{aligned}\tau_{mc,ac} &= \tau_{cm} - \frac{\alpha_{ca,m}}{\alpha_{mc,ac}} (\tau_{ca,m} - \tau_{m,ca}) \\ &= -19,1215\end{aligned}$$

Untuk anion (a) HCO_3^-

$$\begin{aligned}\tau_{mc,ac} &= \tau_{cm} - \frac{\alpha_{ca,m}}{\alpha_{mc,ac}} (\tau_{ca,m} - \tau_{m,ca}) \\ &= 27,5449\end{aligned}$$

Menghitung $\tau_{ma,ca}$

Dari Cullinane (2005):

$$\alpha_{ma,ca} = \alpha_{am}$$

Untuk anion (a) CO_3^{2-}

$$\begin{aligned}\tau_{ma,ca} &= \tau_{am} - \frac{\alpha_{ca,m}}{\alpha_{ma,ca}} (\tau_{ca,m} - \tau_{m,ca}) \\ &= -18,0285\end{aligned}$$

Untuk anion (a) HCO_3^-

$$\begin{aligned}\tau_{ma,ca} &= \tau_{am} - \frac{\alpha_{ca,m}}{\alpha_{ma,ca}} (\tau_{ca,m} - \tau_{m,ca}) \\ &= 25,4520\end{aligned}$$

Menghitung $G_{mc,ac}$

Untuk anion (a) CO_3^{2-}

$$\begin{aligned}G_{mc,ac} &= \exp(-\alpha_{cm} \tau_{mc,ac}) \\ &= 6,7676\end{aligned}$$

Untuk anion (a) HCO_3^-

$$\begin{aligned}G_{mc,ac} &= \exp(-\alpha_{cm} \tau_{mc,ac}) \\ &= 0,0636\end{aligned}$$

Menghitung $G_{ma,ca}$

Untuk anion (a) CO_3^{2-}

$$\begin{aligned}G_{ma,ca} &= \exp(-\alpha_{am} \tau_{ma,ca}) \\ &= 6,0669\end{aligned}$$

Untuk anion (a) HCO_3^-

$$\begin{aligned}G_{ma,ca} &= \exp(-\alpha_{am} \tau_{ma,ca}) \\ &= 0,0785\end{aligned}$$

Perhitungan *Binary Interaction Parameter* antara molekul-pasangan ion dan pasangan ion-molekul untuk molekul CO_2 tersebut dapat dilihat pada Tabel A.32

**Tabel A.32 Perhitungan *Binary Interaction Parameter*
(Molekul:CO₂)**

No.	Parameter	Rumus	m = CO ₂ , c = K ⁺	
			a = CO ₃ ⁼	a = HCO ₃ ⁻
1.	Y _a		0,692	0,308
2.	Y _c		1,000	1,000
3.	τ _{ca,m}		5,8962	2,710
4.	τ _{m,ca}		-18,0285	25,4520
5.	α _{ca,m}		0,100	0,100
6.	α _{m,ca}		0,100	0,100
7.	α _{c,m}	ΣY _a .α _{m,ca}	0,100	0,100
9.	G _{ca,m}	exp(-α _{ca,m} . τ _{ca,m})	0,5545	0,7626
10.	G _{c,m}	ΣY _a .G _{ca,m}	0,6186	0,6186
11.	G _{a,m}	ΣY _c .G _{ca,m}	0,5545	0,7626
12.	τ _{c,m}	-ln(G _{c,m})/α _{c,m}	4,8033	4,8033
13.	τ _{a,m}	-ln(G _{a,m})/α _{a,m}	5,896	2,710
14.	τ _{mc,ac}	τ _{c,m} - (α _{ca,m} /α _{c,m})*(τ _{ca,m} -τ _{m,ca})	-19,1215	27,5449
15.	τ _{ma,ca}	τ _{a,m} - (α _{ca,m} /α _{a,m})*(τ _{ca,m} -τ _{m,ca})	-18,0285	25,4520
16.	G _{mc,ac}	exp(-α _{c,m} . τ _{mc,ac})	6,7676	0,0636
17.	G _{ma,ca}	exp(-α _{a,m} . τ _{ma,ca})	6,0669	0,0785

Binary Interaction Parameter antara molekul-pasangan iondan pasangan ion-molekul untuk molekul H₂O dapat dihitung dengan cara yang sama seperti Perhitungan *Binary Interaction Parameter* antara molekul-pasangan ion dan pasangan ion-molekul untuk molekul CO₂. Perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel A.33.

**Tabel A.33 Perhitungan *Binary Interaction Parameter*
(Molekul:H₂O)**

No.	Parameter	Rumus	m = H ₂ O, c = K ⁺	
			a = CO ₃ ⁼	a = HCO ₃ ⁻
1.	Y _a		0,692	0,308
2.	Y _c		1,000	1,000
3.	τ _{ca,m}		24,540	37,426
4.	τ _{m,ca}		-34,239	-39,641
5.	α _{ca,m}		0,200	0,200
6.	α _{m,ca}		0,200	0,200
7.	α _{c,m}	ΣY _a .α _{m,ca}	0,200	0,200
8.	α _{a,m}	ΣY _c .α _{m,ca}	0,200	0,200
9.	G _{ca,m}	exp(-α _{ca,m} . τ _{ca,m})	0,007	0,001
10.	G _{c,m}	ΣY _a .G _{ca,m}	0,005	0,005
11.	G _{a,m}	ΣY _c .G _{ca,m}	0,007	0,001
12.	τ _{c,m}	-ln(G _{c,m})/α _{c,m}	26,213	26,213
13.	τ _{a,m}	-ln(G _{a,m})/α _{a,m}	24,540	37,426
14.	τ _{mc,ac}	τ _{c,m} - (α _{ca,m} /α _{c,m})*(τ _{ca,m} -τ _{m,ca})	-32,566	-50,853
15.	τ _{ma,ca}	τ _{a,m} - (α _{ca,m} /α _{a,m})*(τ _{ca,m} -τ _{m,ca})	-34,239	-39,641
16.	G _{mc,ac}	exp(-α _{c,m} . τ _{mc,ac})	673,930	2,61E+04
17.	G _{ma,ca}	exp(-α _{a,m} . τ _{ma,ca})	941,830	2774,296

Binary Interaction Parameter antara molekul-pasangan ion dan pasangan ion-molekul untuk molekul Glisin dapat dihitung dengan cara yang sama seperti Perhitungan *Binary Interaction Parameter* antara molekul-pasangan ion dan pasangan ion-molekul untuk molekul CO₂. Perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel A.34 berikut:

**Tabel A.34 Perhitungan *Binary Interaction Parameter*
(Molekul:Glisin)**

No.	Parameter	Rumus	m = Glisin, c = K+	
			a = CO ₃ ⁼	a = HCO ₃ ⁻
1.	Y _a		0,692	0,308
2.	Y _c		1,000	1,000
3.	τ _{ca,m}		38,561	-107,464
4.	τ _{m,ca}		-2,689	21,523
5.	α _{ca,m}		0,100	0,100
6.	α _{m,ca}		0,100	0,100
7.	α _{c,m}	ΣY _a .α _{m,ca}	0,100	0,100
8.	α _{a,m}	ΣY _c .α _{m,ca}	0,100	0,100
9.	G _{ca,m}	exp(-α _{ca,m} . τ _{ca,m})	0,021	46462,970
10.	G _{c,m}	ΣY _a .G _{ca,m}	14303,147	14303,147
11.	G _{a,m}	ΣY _c .G _{ca,m}	0,021	46462,970
12.	τ _{c,m}	-ln(G _{c,m})/α _{c,m}	-95,682	-95,682
13.	τ _{a,m}	-ln(G _{a,m})/α _{a,m}	38,561	-107,464
14.	τ _{mc,ac}	τ _{c,m} - (α _{ca,m} /α _{c,m})*(τ _{ca,m} -τ _{m,ca})	-136,932	33,305
15.	τ _{ma,ca}	τ _{a,m} - (α _{ca,m} /α _{a,m})*(τ _{ca,m} -τ _{m,ca})	-2,689	21,523
16.	G _{mc,ac}	exp(-α _{c,m} . τ _{mc,ac})	884912,803	0,036
17.	G _{ma,ca}	exp(-α _{a,m} . τ _{ma,ca})	1,309	0,116

Binary Interaction Parameter antara molekul-pasangan iondan pasangan ion-molekul untuk molekul DEA dapat dihitung dengan cara yang sama seperti Perhitungan *Binary Interaction Parameter* antara molekul-pasangan iondan pasangan ion-molekul untuk molekul CO₂. Perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel A.35

**Tabel A.35 Perhitungan *Binary Interaction Parameter*
(Molekul:DEA)**

No.	Parameter	Rumus	m = DEA, c = K+	
			a = CO ₃ ⁼	a = HCO ₃ ⁻
1.	Y _a		0,692	0,308
2.	Y _c		1,000	1,000
3.	τ _{ca,m}		-24,962	-3,101
4.	τ _{m,ca}		6,749	-55,446
5.	α _{ca,m}		0,100	0,100
6.	α _{m,ca}		0,100	0,100
7.	α _{c,m}	ΣY _a .α _{m,ca}	0,100	0,100
8.	α _{a,m}	ΣY _c .α _{m,ca}	0,100	0,100
9.	G _{ca,m}	exp(-α _{ca,m} . τ _{ca,m})	12,136	1,363
10.	G _{c,m}	ΣY _a .G _{ca,m}	8,820	8,820
11.	G _{a,m}	ΣY _c .G _{ca,m}	12,136	1,363
12.	τ _{c,m}	-ln(G _{c,m})/α _{c,m}	-21,770	-21,770
13.	τ _{a,m}	-ln(G _{a,m})/α _{a,m}	-24,962	-3,101
14.	τ _{mc,ac}	τ _{c,m} - (α _{ca,m} /α _{c,m})*(τ _{ca,m} -τ _{m,ca})	9,940	-74,116
15.	τ _{ma,ca}	τ _{a,m} - (α _{ca,m} /α _{a,m})*(τ _{ca,m} -τ _{m,ca})	6,749	-55,446
16.	G _{mc,ac}	exp(-α _{c,m} . τ _{mc,ac})	0,370	1655,106
17.	G _{ma,ca}	exp(-α _{a,m} . τ _{ma,ca})	0,509	255,864

Menghitung *Binary Interaction Parameter* Antarmolekul

Diketahui *Binary interaction parameter* dari hasil fitting seperti pada Tabel A.36.

Tabel A.36 Data Konstanta *Binary Interaction Parameter* Antarmolekul

Interaksi	A	B
CO ₂ -H ₂ O	17,312	-1128,550
H ₂ O-CO ₂	1,521	-354,344
H ₂ O-DEA	38,753	-1547,904
DEA-H ₂ O	70,011	-414,157
DEA-CO ₂	0,707	0,025
CO ₂ -DEA	-0,001	0,175
H ₂ O-Glisin	110,958	1317,967
Glisin -H ₂ O	-88,286	23082,052
Glisin -CO ₂	-0,028	0,012
CO ₂ - Glisin	58,189	0,099
Glisin -DEA	4,350	0,015
DEA- Glisin	25,063	0,051

Menghitung *Binary Interaction Parameter* antar molekul untuk molekul CO₂:

molekular = CO₂, H₂O, DEA dan Glisin

Dari eksperimen didapatkan suhu sistem pada saat terjadi kesetimbangan:

$$\begin{aligned}
 T \text{ sistem} &= 30^{\circ}\text{C} \\
 &= (30^{\circ}\text{C} + 273,15) \text{ K} \\
 &= 303,15 \text{ K}
 \end{aligned}$$

Rumus yang digunakan untuk menghitung *Binary Interaction Parameter* antar molekul adalah :

Menghitung $\tau_{m,m'}$

Untuk m' CO₂

Binary Interaction Parameter antar molekul CO₂- CO₂:

$$\tau_{m,m'} = 0$$

Untuk m' H₂O, m' DEA, m' Glisin

Konstanta *Binary Interaction Parameter* yang digunakan adalah konstanta interaksi molekul-molekul yaitu CO₂- H₂O, CO₂- DEA, CO₂-Glisin dengan persamaan berikut:

$$\tau_{m,m'} = A + \frac{B}{T(K)}$$

Menghitung $\alpha_{m,m'}$

Untuk m' CO₂

Nonrandomness parameter antar molekul CO₂- CO₂:

$$\alpha_{m,m'} = 0,2$$

Untuk m' H₂O

Nonrandomness parameter antar molekul CO₂- H₂O:

$$\alpha_{m,m'} = 0,2$$

Untuk m' DEA

Nonrandomness parameter antar molekul CO₂- DEA:

$$\alpha_{m,m'} = 0,2$$

Untuk m' Glisin

Nonrandomness parameter antar molekul CO₂- Glisin:

$$\alpha_{m,m'} = 0,2$$

Menghitung $G_{m,m'}$

Untuk m' CO₂, m' H₂O, m' DEA, m' Glisin

$$G_{m,m'} = \exp(-\alpha_{m,m'} \tau_{m,m'})$$

Binary Interaction Parameter antar molekul untuk molekul H₂O, DEA dan Glisin dapat dihitung dengan cara yang sama seperti Perhitungan *Binary Interaction Parameter* antar molekul untuk molekul CO₂. Perhitungan tersebut dapat ditabelkan sebagai berikut:

Tabel A.37 Perhitungan *Binary Interaction Parameter* antar Molekul

M	m' = H ₂ O		m' = CO ₂		m' = Glisin		m' = DEA	
	$\tau_{m,m'}$	G _{m,m'}	$\tau_{m,m'}$	G _{m,m'}	$\tau_{m,m'}$	G _{m,m'}	$\tau_{m,m'}$	G _{m,m'}
H ₂ O	0,000	1,000	0,352	0,932	115,306	0,000	33,647	0,001
CO ₂	13,589	0,066	0,000	1,000	58,189	0,000	0,000	1,000
Glisin	-12,145	11,347	-0,028	1,006	0,000	1,000	4,350	0,419
DEA	68,645	0,000	0,707	0,868	25,064	0,007	0,000	1,000

Menghitung Koefisien Aktivitas H₂O dan CO₂

Perhitungan koefisien aktivitas H₂O dan CO₂ sebagai berikut :

Menghitung $\sum_j X_j G_{jm} \tau_{jm}$

$$\begin{aligned} \sum_j X_j G_{jm} \tau_{jm} = & X_{CO_2} G_{CO_2, H_2O} \tau_{CO_2, H_2O} + X_{H_2O} G_{H_2O, H_2O} \tau_{H_2O, H_2O} \\ & + X_{MDEA} G_{MDEA, H_2O} \tau_{MDEA, H_2O} + \\ & X_{Glisin} G_{Glisin, H_2O} \tau_{Glisin, H_2O} + \\ & X_{CO_3^{2-}} G_{CO_3^{2-}, H_2O} \tau_{CO_3^{2-}, H_2O} + \\ & X_{HCO_3^-} G_{HCO_3^-, H_2O} \tau_{HCO_3^-, H_2O} \\ & + X_{K^+} G_{K^+, H_2O} \tau_{K^+, H_2O} \end{aligned}$$

Menghitung $\sum_k X_k G_{km}$

$$\begin{aligned} \sum_k X_k G_{km} = & X_{CO_2} G_{CO_2, H_2O} + X_{H_2O} G_{H_2O, H_2O} + X_{MDEA} G_{MDEA, H_2O} + \\ & X_{DEA} G_{DEA, H_2O} + X_{CO_3^{2-}} G_{CO_3^{2-}, H_2O} + \\ & X_{HCO_3^-} G_{HCO_3^-, H_2O} + X_{K^+} G_{K^+, H_2O} \end{aligned}$$

$$\text{Menghitung } \sum_{m'} \frac{X_{m'} G_{mm'}}{\sum_k X_k G_{km'}}$$

Untuk m' = CO₂

$$\sum_{m'} \frac{X_{m'} G_{mm'}}{\sum_k X_k G_{km'}} = \frac{X_{CO_2} G_{H_2O, CO_2}}{X_{CO_2} G_{CO_2, CO_2} + X_{H_2O} G_{H_2O, CO_2} + X_{MDEA} G_{MDEA, CO_2} + X_{DEA} G_{DEA, CO_2} + X_{CO_3^{2-}} G_{CO_3^{2-}, CO_2} + X_{HCO_3^-} G_{HCO_3^-, CO_2} + X_{K^+} G_{K^+, CO_2}}$$

Untuk m' = DEA

$$\sum_{m'} \frac{X_{m'} G_{mm'}}{\sum_k X_k G_{km'}} = \frac{X_{MDEA} G_{H_2O, MDEA}}{X_{CO_2} G_{CO_2, MDEA} + X_{H_2O} G_{H_2O, MDEA} + X_{MDEA} G_{MDEA, MDEA} + X_{DEA} G_{DEA, DEA} + X_{CO_3^{2-}} G_{CO_3^{2-}, MDEA} + X_{HCO_3^-} G_{HCO_3^-, MDEA} + X_{K^+} G_{K^+, MDEA}}$$

Untuk m' = GLISIN

$$\sum_{m'} \frac{X_{m'} G_{mm'}}{\sum_k X_k G_{km'}} = \frac{X_{DEA} G_{H_2O, Glisin}}{X_{CO_2} G_{CO_2, Glisin} + X_{H_2O} G_{H_2O, Glisin} + X_{MDEA} G_{MDEA, Glisin} + X_{Glisin} G_{Glisin, Glisin} + X_{CO_3^{2-}} G_{CO_3^{2-}, Glisin} + X_{HCO_3^-} G_{HCO_3^-, Glisin} + X_{K^+} G_{K^+, Glisin}}$$

Menghitung $\tau_{m,m'}$

Untuk m' = CO₂

$$\tau_{m,m'} = \tau_{H_2O, CO_2}$$

Untuk m' = DEA

$$\tau_{m,m'} = \tau_{H_2O,MDEA}$$

Untuk m' = GLISIN

$$\tau_{m,m'} = \tau_{H_2O,Gli\ sin}$$

Menghitung $\sum_k X_k G_{km'} \tau_{km'}$

Untuk m' = CO₂

$$\begin{aligned} \sum_k X_k G_{km'} \tau_{km'} &= X_{CO_2} G_{CO_2,CO_2} \tau_{CO_2,CO_2} + X_{H_2O} G_{H_2O,CO_2} \tau_{H_2O,CO_2} + \\ &X_{MDEA} G_{MDEA,CO_2} \tau_{MDEA,CO_2} + \\ &X_{Gli\ sin} G_{Gli\ sin,CO_2} \tau_{Gli\ sin,CO_2} + \\ &X_{CO_3^{2-}} G_{CO_3^{2-},CO_2} \tau_{CO_3^{2-},CO_2} + \\ &X_{HCO_3^-} G_{HCO_3^-,CO_2} \tau_{HCO_3^-,CO_2} + X_{K^+} G_{K^+,CO_2} \tau_{K^+,CO_2} \end{aligned}$$

Untuk m' = DEA

$$\begin{aligned} \sum_k X_k G_{km'} \tau_{km'} &= X_{CO_2} G_{CO_2,MDEA} \tau_{CO_2,MDEA} + \\ &X_{H_2O} G_{H_2O,MDEA} \tau_{H_2O,MDEA} + \\ &X_{MDEA} G_{MDEA,MDEA} \tau_{MDEA,MDEA} + \\ &X_{Gli\ sin} G_{Gli\ sin,MDEA} \tau_{Gli\ sin,MDEA} + \\ &X_{CO_3^{2-}} G_{CO_3^{2-},MDEA} \tau_{CO_3^{2-},MDEA} + \\ &X_{HCO_3^-} G_{HCO_3^-,MDEA} \tau_{HCO_3^-,MDEA} + \\ &X_{K^+} G_{K^+,MDEA} \tau_{K^+,MDEA} \end{aligned}$$

Untuk m' = GLISIN

$$\begin{aligned} \sum_k X_k G_{km'} \tau_{km'} &= X_{CO_2} G_{CO_2,Gli\ sin} \tau_{CO_2,Gli\ sin} + \\ &X_{H_2O} G_{H_2O,Gli\ sin} \tau_{H_2O,Gli\ sin} + \\ &X_{MDEA} G_{MDEA,Gli\ sin} \tau_{MDEA,Gli\ sin} + \\ &X_{Gli\ sin} G_{Gli\ sin,Gli\ sin} \tau_{Gli\ sin,Gli\ sin} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& X_{CO_3^{2-}} G_{CO_3^{2-}, Glisin} \tau_{CO_3^{2-}, Glisin} + \\
& X_{HCO_3^-} G_{HCO_3^-, Glisin} \tau_{HCO_3^-, Glisin} + \\
& X_{K^+} G_{K^+, Glisin} \tau_{K^+, Glisin}
\end{aligned}$$

Menghitung $\sum_k X_k G_{km'}$

Untuk m' = CO₂

$$\begin{aligned}
\sum_k X_k G_{km'} &= X_{CO_2} G_{CO_2, CO_2} + X_{H_2O} G_{H_2O, CO_2} + X_{MDEA} G_{MDEA, CO_2} + \\
& X_{Glisin} G_{Glisin, CO_2} + X_{CO_3^{2-}} G_{CO_3^{2-}, CO_2} + \\
& X_{HCO_3^-} G_{HCO_3^-, CO_2} + X_{K^+} G_{K^+, CO_2}
\end{aligned}$$

Untuk m' = DEA

$$\begin{aligned}
\sum_k X_k G_{km'} &= X_{CO_2} G_{CO_2, MDEA} + X_{H_2O} G_{H_2O, MDEA} + \\
& X_{MDEA} G_{MDEA, MDEA} + X_{Glisin} G_{Glisin, MDEA} + \\
& X_{CO_3^{2-}} G_{CO_3^{2-}, MDEA} + X_{HCO_3^-} G_{HCO_3^-, MDEA} + \\
& X_{K^+} G_{K^+, MDEA}
\end{aligned}$$

Untuk m' = GLISIN

$$\begin{aligned}
\sum_k X_k G_{km'} &= X_{CO_2} G_{CO_2, Glisin} + X_{H_2O} G_{H_2O, Glisin} + \\
& X_{MDEA} G_{MDEA, Glisin} + X_{Glisin} G_{Glisin, Glisin} + \\
& X_{CO_3^{2-}} G_{CO_3^{2-}, Glisin} + X_{HCO_3^-} G_{HCO_3^-, Glisin} + \\
& X_{K^+} G_{K^+, Glisin}
\end{aligned}$$

$$\text{Menghitung } \sum_c \sum_a \frac{Y_a X_c G_{mc,ac}}{\sum_k X_k G_{ka,ac}}$$

Untuk a = CO₃⁼

$$\sum_c \sum_a \frac{Y_a X_c G_{mc,ac}}{\sum_k X_k G_{ka,ac}} = \frac{Y_{CO_3^{2-}} X_{K^+} G_{H_2O-K^+, CO_3^{2-}-K^+}}{X_{CO_2} G_{CO_2-CO_3^{2-}, CO_3^{2-}-K^+} + X_{H_2O} G_{H_2O-CO_3^{2-}, CO_3^{2-}-K^+} + X_{MDEA} G_{MDEA-CO_3^{2-}, CO_3^{2-}-K^+} + X_{Glisin} G_{Glisin-CO_3^{2-}, CO_3^{2-}-K^+}}$$

Untuk a = HCO₃⁻

$$\sum_c \sum_a \frac{Y_a X_c G_{mc,ac}}{\sum_k X_k G_{ka,ac}} = \frac{Y_{HCO_3^-} X_{K^+} G_{H_2O-K^+, HCO_3^- -K^+}}{X_{CO_2} G_{CO_2-HCO_3^-, HCO_3^- -K^+} + X_{H_2O} G_{H_2O-HCO_3^-, HCO_3^- -K^+} + X_{MDEA} G_{MDEA-HCO_3^-, HCO_3^- -K^+} + X_{Glisin} G_{Glisin-HCO_3^-, HCO_3^- -K^+}}$$

Menghitung $\tau_{mc,ac}$

Untuk a = CO₃⁼

$$\tau_{mc,ac} = \tau_{H_2O-K^+, CO_3^{2-}-K^+}$$

Untuk a = HCO₃⁻

$$\tau_{mc,ac} = \tau_{H_2O-K^+, HCO_3^- -K^+}$$

$$\text{Menghitung } \sum_k X_k G_{kc,ac} \tau_{kc,ac}$$

Untuk a = CO₃⁼

$$\begin{aligned} \sum_k X_k G_{kc,ac} \tau_{kc,ac} = & X_{CO_2} G_{CO_2-K^+, CO_3^{2-}-K^+} \tau_{CO_2-K^+, CO_3^{2-}-K^+} + \\ & X_{H_2O} G_{H_2O-K^+, CO_3^{2-}-K^+} \tau_{H_2O-K^+, CO_3^{2-}-K^+} + \\ & X_{MDEA} G_{MDEA-K^+, CO_3^{2-}-K^+} \tau_{MDEA-K^+, CO_3^{2-}-K^+} + \\ & X_{Glisin} G_{Glisin-K^+, CO_3^{2-}-K^+} \tau_{Glisin-K^+, CO_3^{2-}-K^+} \end{aligned}$$

Untuk a = HCO₃⁻

$$\begin{aligned}\sum_k X_k G_{kc,ac} \tau_{kc,ac} = & X_{CO_2} G_{CO_2-K^+, HCO_3^- - K^+} \tau_{CO_2-K^+, HCO_3^- - K^+} + \\ & X_{H_2O} G_{H_2O-K^+, HCO_3^- - K^+} \tau_{H_2O-K^+, HCO_3^- - K^+} + \\ & X_{MDEA} G_{MDEA-K^+, HCO_3^- - K^+} \tau_{MDEA-K^+, HCO_3^- - K^+} + \\ & X_{Glisin} G_{Glisin-K^+, HCO_3^- - K^+} \tau_{Glisin-K^+, HCO_3^- - K^+}\end{aligned}$$

Menghitung $\sum_k X_k G_{kc,ac}$

Untuk a = CO₃⁼

$$\begin{aligned}\sum_k X_k G_{kc,ac} = & X_{CO_2} G_{CO_2-K^+, CO_3^{2-} - K^+} + X_{H_2O} G_{H_2O-K^+, CO_3^{2-} - K^+} + \\ & X_{MDEA} G_{MDEA-K^+, CO_3^{2-} - K^+} + \\ & X_{Glisin} G_{Glisin-K^+, CO_3^{2-} - K^+}\end{aligned}$$

Untuk a = HCO₃⁻

$$\begin{aligned}\sum_k X_k G_{kc,ac} = & X_{CO_2} G_{CO_2-K^+, HCO_3^- - K^+} + X_{H_2O} G_{H_2O-K^+, HCO_3^- - K^+} + \\ & X_{MDEA} G_{MDEA-K^+, HCO_3^- - K^+} + \\ & X_{Glisin} G_{Glisin-K^+, HCO_3^- - K^+}\end{aligned}$$

Menghitung $\sum_a \sum_c \frac{Y_c X_a G_{ma,ca}}{\sum_k X_k G_{ka,ca}}$

Untuk a = CO₃⁼

$$\begin{aligned}\sum_a \sum_c \frac{Y_c X_a G_{ma,ca}}{\sum_k X_k G_{ka,ca}} = & \frac{Y_{K^+} X_{CO_3^{2-}} G_{H_2O-CO_3^{2-}, K^+ - CO_3^{2-}}}{X_{CO_2} G_{CO_2-CO_3^{2-}, K^+ - CO_3^{2-}} + X_{H_2O} G_{H_2O-CO_3^{2-}, K^+ - CO_3^{2-}}} \\ & + \frac{X_{MDEA} G_{MDEA-CO_3^{2-}, K^+ - CO_3^{2-}} X_{Glisin} G_{Glisin-CO_3^{2-}, K^+ - CO_3^{2-}}}{\end{aligned}$$

Untuk a = HCO₃⁻

$$\frac{\sum_a \sum_c \frac{Y_c X_a G_{ma,ca}}{\sum_k X_k G_{ka,ca}} = \frac{Y_{K^+} X_{HCO_3^-} G_{H_2O-HCO_3^-, K^+-HCO_3^-}}{X_{CO_2} G_{CO_2-HCO_3^-, K^+-HCO_3^-} + X_{H_2O} G_{H_2O-HCO_3^-, K^+-HCO_3^-} + X_{MDEA} G_{MDEA-HCO_3^-, K^+-HCO_3^-} + X_{Glisin} G_{Glisin-HCO_3^-, K^+-HCO_3^-}}$$

Menghitung $\sum_k X_k G_{ka,ca} \tau_{ka,ca}$

Untuk a = CO₃⁼

$$\begin{aligned} \sum_k X_k G_{ka,ca} \tau_{ka,ca} = & X_{CO_2} G_{CO_2-CO_3^{2-}, K^+-CO_3^{2-}} \tau_{CO_2-CO_3^{2-}, K^+-CO_3^{2-}} + \\ & X_{H_2O} G_{H_2O-CO_3^{2-}, K^+-CO_3^{2-}} \tau_{H_2O-CO_3^{2-}, K^+-CO_3^{2-}} + \\ & X_{MDEA} G_{MDEA-CO_3^{2-}, K^+-CO_3^{2-}} \tau_{MDEA-CO_3^{2-}, K^+-CO_3^{2-}} + \\ & X_{Glisin} G_{Glisin-CO_3^{2-}, K^+-CO_3^{2-}} \tau_{Glisin-CO_3^{2-}, K^+-CO_3^{2-}} \end{aligned}$$

Untuk a = HCO₃⁻

$$\begin{aligned} \sum_k X_k G_{ka,ca} \tau_{ka,ca} = & X_{CO_2} G_{CO_2-HCO_3^-, K^+-HCO_3^-} \tau_{CO_2-HCO_3^-, K^+-HCO_3^-} + \\ & X_{H_2O} G_{H_2O-HCO_3^-, K^+-HCO_3^-} \tau_{H_2O-HCO_3^-, K^+-HCO_3^-} + \\ & X_{MDEA} G_{MDEA-HCO_3^-, K^+-HCO_3^-} \tau_{MDEA-HCO_3^-, K^+-HCO_3^-} + \\ & X_{Glisin} G_{Glisin-HCO_3^-, K^+-HCO_3^-} \tau_{Glisin-HCO_3^-, K^+-HCO_3^-} \end{aligned}$$

Menghitung $\sum_k X_k G_{ka,ca}$

Untuk a = CO₃⁼

$$\begin{aligned} \sum_k X_k G_{ka,ca} = & X_{CO_2} G_{CO_2-CO_3^{2-}, K^+-CO_3^{2-}} + X_{H_2O} G_{H_2O-CO_3^{2-}, K^+-CO_3^{2-}} + \\ & X_{MDEA} G_{MDEA-CO_3^{2-}, K^+-CO_3^{2-}} + X_{Glisin} G_{Glisin-CO_3^{2-}, K^+-CO_3^{2-}} \end{aligned}$$

Untuk $a = \text{HCO}_3^-$

$$\sum_k X_k G_{ka,ca} = X_{\text{CO}_2} G_{\text{CO}_2-\text{HCO}_3^-, \text{K}^+-\text{HCO}_3^-} + \\ X_{\text{H}_2\text{O}} G_{\text{H}_2\text{O}-\text{HCO}_3^-, \text{K}^+-\text{HCO}_3^-} + \\ X_{\text{Glisin}} G_{\text{Glisin}-\text{HCO}_3^-, \text{K}^+-\text{HCO}_3^-}$$

Perhitungan koefisien aktivitas H_2O dapat dilihat pada Tabel A.38 dan untuk perhitungan koefisien aktivitas CO_2 dapat dilihat pada Tabel A.39.

Tabel A.38 Perhitungan Koefisien Aktivitas H_2O

No	Persamaan ENRTL	Hasil hitung		
1a	$\sum_j X_j G_{jm} \tau_{jm}$	-2,249		
1b	$\sum_k X_k G_{km}$	0,915		
1c	1a/1c	-2,458		
		m' = CO2	m' = GLYCINE	m' = DEA
2a	$\sum_{m'} \frac{X_{m'} G_{mm'}}{\sum_k X_k G_{km}}$	1,12E-04	-2,32897E-15	-0,0001534
2b	$\tau_{m,m'}$	0,352	115,306	33,647
2c	$\sum_k X_k G_{km} \tau_{km'}$	0,139	90415,155	12,0291254
2d	$\sum_k X_k G_{km'}$	1,153	-674,954	-0,361976
2e	2a(2b-(2c/2d))	2,6E-05	-5,8E-13	-1,0E-02
2f	jumlah 2e	-1,023E-02		
		a = CO3 ⁼	a = HCO3 ⁻	-
3a	$\sum_e \sum_a \frac{Y_a X_e G_{mc,ac}}{\sum_k X_k G_{ka,ac}}$	0,072	4,18E-01	-

Tabel A.38 Perhitungan Koefisien Aktivitas H₂O (Lanjutan)

3b	$\tau_{mc,ac}$	-32,566	-50,853	-
3c	$\sum_k X_k G_{kc,ac} \tau_{kc,ac}$	-1989195,3	-976575,788	-
3d	$\sum_k X_k G_{kc,ac}$	14902,2	1,92E+04	-
3e	3a(3b-3c/3d)	7,3E+00	3,90E-02	-
3f	jumlah 3e	7,295E+00		
		a = CO ₃ ⁼	a = HCO ₃ ⁻	-
4a	$\sum_a \sum_c \frac{Y_c X_a G_{ma,ca}}{\sum_k X_k G_{ka,ca}}$	-0,145	-0,022	-
4b	$\tau_{ma,ca}$	-34,239	-39,641	-
4c	$\sum_k X_k G_{ka,ca} \tau_{ka,ca}$	-23567,0	-81031,258	-
4d	$\sum_k X_k G_{ka,ca}$	688,4	2039,403	-
4e	4a(4b-(4c/4d))	3,5E-04	-2,01E-03	-
4f	jumlah 4e	-1,659E-03		
5	$\ln \gamma_{H_2O}^{lc} = 1c + 2f + 3f + 4f$	4,825863506		
6	$\ln \gamma_{H_2O}^{PHD} = n \gamma_{H_2O}^{Born} = 0$	0,000		
7	γ_{H_2O}	124,694		
8	P H ₂ O	635226,51		

Tabel A.39 Perhitungan Koefisien Aktivitas CO₂

No	Persamaan ENRTL	Hasil hitung		
1a	$\sum_j X_j G_{jm} \tau_{jm}$	0,139		
1b	$\sum_k X_k G_{km}$	0,709		
1c	1a/1c	0,196		
		m' = H2O	m'=GLYCINE	m'=DEA
2a	$\sum_{m'} \frac{X_{m'} G_{mm'}}{\sum_k X_k G_{km'}}$	0,053	-2,12933E-10	-0,1283704
2b	$\tau_{m,m'}$	0,066	58,189	1,000
2c	$\sum_k X_k G_{km'} \tau_{km'}$	-2,249	90415,163	12,0291254
2d	$\sum_k X_k G_{km'}$	0,915	-674,954	-0,361976
2e	2a(2b-(2c/2d))	0,133	-4,09143E-08	-4,4E+00
2f	jumlah 2e	0,133		
			a = HCO ₃ ⁻	-
3a	$\sum_c \sum_a \frac{Y_a X_c G_{mc,ac}}{\sum_k X_k G_{ka,ac}}$	0,001	0,000	-
3b	$\tau_{mc,ac}$	-19,121	27,545	-
3c	$\sum_k X_k G_{kc,ac} \tau_{kc,ac}$	0,418	-976575,788	-

Tabel A.39 Perhitungan Koefisien Aktivitas CO₂ (Lanjutan)

3d	$\sum_k X_k G_{kc,ac}$	14902,245	1,92E+04	-
3e	3a(3b-3c/3d)	-0,014	0,009	-
3f	jumlah 3e	-0,005		
		a = CO ₃ ⁼	a = HCO ₃ ⁻	-
4a	$\sum_a \sum_c \frac{Y_c X_a G_{ma,ca}}{\sum_k X_k G_{ka,ca}}$	-0,001	0,000	-
4b	$\tau_{ma,ca}$	-18,028	25,452	-
4c	$\sum_k X_k G_{ka,ca} \tau_{ka,ca}$	-23567,0	-81031,258	-
4d	$\sum_k X_k G_{ka,ca}$	688,4	2039,403	-
4e	4a(4b-(4c/4d))	-0,015	0,000	-
4f	jumlah 4e	-0,015		
5	$\ln \gamma_{CO_2}^{lc} = 1c + 2f + 3f + 4f$	0,308		
6	$\ln \gamma_{CO_2}^{PHD} = n \gamma_{CO_2}^{Born} = 0$	0,000		
7	γ_{CO_2}	1,361		
8	P CO ₂	26377,34		

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIOGRAFI PENULIS



Shauma Hibatul Wafi lahir pada tanggal 23 Januari 1997 di kota Balikpapan, Kalimantan Timur. Penulis menempuh pendidikan menengah di SMP Nasima di Kota Semarang dan SMA Negeri 1 Kota Semarang. Pada tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan S1 di Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya hingga terselesaikannya buku ini. Semasa kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi yaitu sebagai *Finance of CHERNIVAL 2016* dan *Administrative Secretary of SPE ITS SC 2016/2017*, serta aktif dalam berbagai *event* yang diselenggarakan oleh Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia FTI ITS. Penulis menjalani kerja praktik di PT. Pertamina EP Asset 4 Field Cepu di Jawa Tengah dan memilih Laboratorium Termodinamika Teknik Kimia untuk pengerjaan tugas akhir pada studinya. Penulis menyelesaikan Tugas Akhir Pra-Desain Pabrik Metanol dari Batubara dan skripsi yang berjudul “Eksperimen dan Estimasi Kestimbangan Fasa Uap-Cair Sistem Larutan Elektrolit $\text{CO}_2\text{-K}_2\text{CO}_3\text{-(DEA+GLISIN)-H}_2\text{O}$ ” di bawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA dan Rizky Tetrisyanda, S.T., M.T. Penulis terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun mengenai penelitian ini dan pembaca dapat menghubungi penulis melalui e-mail: shaumawafi@gmail.com.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIOGRAFI PENULIS



Adrian Tawakal lahir pada tanggal 25 Juli 1995 di kota Pekanbaru, Riau dan merupakan anak pertama dari 6 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan menengahnya di SMP Islam As-shofa Pekanbaru dan MAN 2 Model Pekanbaru. Dan pada tahun 2013, penulis mulai melanjutkan pendidikan S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Teknik Kimia, sampai dengan terselesaikannya buku ini. Penulis menjalani kerja praktek di PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit II, Dumai. Dan pada akhir studinya, Laboratorium Termodinamika Teknik Kimia dipilih untuk pengerjaan tugas akhir. Penulis menyelesaikan tugas Pra-Desain Pabrik Metanol dari Batubara dan skripsi yang berjudul “Eksperimen dan Estimasi Keseimbangan Uap-Cair Sistem Larutan Elektrolit $\text{CO}_2\text{-K}_2\text{CO}_3\text{-(DEA+GLISIN)-H}_2\text{O}$ ” dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA dan Rizky Tetrisyanda, S.T., M.T. Apabila ada kritik dan saran yang membangun tentang penelitian ini, maka pembaca dapat menghubungi penulis via email : adtian.tawakal@gmail.com.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)